

Технологии для смягчения последствий изменения климата

– Сельскохозяйственный сектор –



VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Технологии для смягчения последствий изменения климата

– Сельскохозяйственный сектор –

Авторы

Д. С. Аpretи (*D.C. Uprety*)

Субаш Дхар (*Subash Dhar*)

Донг Хонгмин (*Dong Hongmin*)

Брюс А. Кимбал (*Bruce A. Kimball*)

Амит Гарг (*Amit Garg*)

Джигиша Ападхизай (*Jigeesha Upadhyay*)

Рецензент

Джереми Хэггэр (*Jeremy Haggard*)

Август 2012



Центр ЮНЕП В Рисо по вопросам энергии
климата и устойчивого развития
Технический университет Дании (DTU)
Building 142
DTU Risø Campus Frederiksborgvej 399
P.O. Box: 49 4000 Roskilde Denmark
Phone +45 4677 5129
Fax +45 4632 1999
<http://www.uneprisoe.org/> <http://tech-action.org/>

ISBN: 978-87-93130-41-8

Проектирование и производство:
Magnum Custom Publishing
Нью-Дели, Индия
info@magnumbooks.org

Выражение признательности за фотографии:

Фотография на передней обложке – Фермер выдергивает рассаду риса для пересадки http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rice_02.jpg

Фотография на задней обложке – http://commons.wikimedia.org/wiki/File:All_we_want_is_a_friendly_chat_-_geograph.org.uk_-_1290916.jpg

Данное Руководство можно загрузить с <http://tech-action.org/>

Отказ от ответственности:

Данное Руководство предназначено для содействия правительствам, практическим специалистам из области сельского хозяйства, и заинтересованным лицам в развивающихся странах по вопросам проведения оценки технологических потребностей и планов действий по технологии смягчения последствий выделения парниковых газов в сельскохозяйственном секторе. Предлагаемые в данном Руководстве результаты, предложения и выводы являются ответственностью его авторов и не должны, каким-либо образом, приписываться Глобальному экологическому фонду (ГЭФ), профинансировавшему подготовку данной публикации.

Содержание

<i>Перечень таблиц и рисунков</i>	<i>vii</i>
<i>Сокращения и акронимы</i>	<i>xi</i>
<i>Преобразование единиц</i>	<i>xiii</i>
<i>Предисловие</i>	<i>xv</i>
<i>Выражение признательности</i>	<i>xvii</i>
<i>Лица, принявшие участие в подготовке</i>	<i>xix</i>
1. Введение и краткое содержание Руководства	1
2. Парниковые газы и сельское хозяйство	5
2.1 Доля в выбросах	5
2.2 Смягчение последствий изменения климата	7
2.2.1 Смягчение последствий выделения CO ₂	9
2.2.2 Смягчение последствий выделения N ₂ O	11
2.2.3 Смягчение последствий выделения CH ₄	14
2.3 Выводы	16
3. Управление сельхозугодьями	17
3.1 Земледелие	17
3.1.1 Сельскохозяйственная биотехнология по производству сортов с/х культур с повышенной секвестрацией углерода	18
3.1.2 Технология покровных насаждений	20
3.2 Управление биогенными веществами	22
3.2.1 Управление азотными удобрениями	22
3.2.2 Смягчение последствий выделения CO ₂ микоризой	27
3.3 Управление обработкой почвы/растительными остатками	30
3.3.1 Технология смягчения последствий выделения CO ₂ противозерозийной вспашкой почвы	30
3.3.2 Биоуголь – потенциальный метод секвестрации углерода	37
3.4 Ирригация	40

3.5	Управление системами производства риса	40
3.5.1	Технология смягчения последствий изменения климата посредством управления удобрениями, навозом и использованием соломы	40
3.5.2	Управление водными ресурсами: технология межсезонного дренажа	46
3.5.3	Управление водными ресурсами: технология попеременного увлажнения и осушения (AWD)	50
3.5.4	Технология использования калийных удобрений	52
3.5.5	Сельскохозяйственная биотехнология как возможность смягчения последствий изменения климата	54
3.5.6	Смягчение последствий выделения метана использованием технологии ограниченной обработки земли	56
3.5.7	Технология прямого посева	57
3.5.8	Технология обработки химическими удобрениями	59
3.5.9	Изменение метаногенной активности с использованием электронных акцепторов	61
3.5.10	Краткое обобщение и потенциал различных технологий смягчения последствий изменения климата для сокращения выбросов с рисовых полей	63
3.6	Агролесоводство	64
4.	Ведение животноводческого хозяйства	71
4.1	Усовершенствованная практика кормления	72
4.1.1	Смягчение последствий выбросов энтерального метана CH_4 путем распространения аммонизированных соломы и силоса	72
4.1.2	Смягчение последствий выбросов энтерального CH_4 путем оптимизации кормления	78
4.2	Долговременные структурные преобразования и изменения в управлении и селекция животных	83
4.2.1	Выведение генетически модифицированных бактерий рубца, производящих меньше метана	83
5.	Управление навозом и твердыми биологическими веществами	87
5.1	Усовершенствованное хранение и обращение	87
5.1.1	Покрытие навозохранилищ для смягчения последствий выбросов ПГ	87
5.1.2	Биопокрытия на полигонах для отходов	91
5.2	Анаэробное разложение сельскохозяйственных отходов	93

5.2.1	Тенки для биогаза бытового назначения с улавливанием и утилизацией CH_4	93
5.2.2	Обработка пожнивных остатков за пределами поля	99
6.	Органическое сельское хозяйство	103
7.	Биоэнергия	109
7.1	Сельское хозяйство для производства биотоплива	109
7.2	Смягчение последствий выбросов CO_2 микроводорослями	111
8.	Выводы	119
	Библиография	123

Перечень таблиц и рисунков

Перечень таблиц

Таблица 1.1	Меры и действия, направленные на смягчение последствий выбросов ПГ с/х сектором (*)	2
Таблица 2.1	Глобальные годовые выбросы N_2O с/х сектором	11
Таблица 2.2	Выбросы N_2O ($Gg N_2O$) в Нидерландах	13
Таблица 3.1	Обобщенная информация о связи между урожайностью кукурузы и ингибиторами нитрификации, добавленными к аммиачным удобрениям, внесившимся в различные сезоны в нескольких регионах Соединенных Штатов	23
Таблица 3.2	Сравнение доходов от производства озимой пшеницы (\$ на гектар), с/без применения биоугля	39
Таблица 3.3	Выделение метана при глубоком затоплении (30 см) рисовых полей в низменностях, засаженных cv. Gayatri, результаты управления удобрениями	42
Таблица 3.4	Производство растительной биомассы и совокупного выделения метана при неглубоком затоплении (5 см) и глубоком затоплении дождевыми осадками (30 см) рисовых полей, засаженных cv. Gayatri	43
Таблица 3.5	Годовые затраты, доходы и урожаи в пшеничном эквиваленте при обработке NPK и NPK+FYM в ходе различных долговременных экспериментов	45
Таблица 3.6	Смягчение последствий выбросов метана использованием различных методов управления водой по сравнению с постоянным затоплением (с использованием органических удобрений). WS = влажный сезон, DS = сухой сезон	47
Таблица 3.7	Эффект применения К удобрения на выделение метана рисовым полем	53
Таблица 3.8	Экономика выращивания риса посевом во влажную почву в Шри-Ланке	59
Таблица 3.9	Эффективность затрат по базовому и проектному сценариям в течение периода 2006–2035 годов	68
Таблица 4.1	Анализ затрат на сокращение выбросов метана коровами при трех рационах питания	82
Таблица 5.1	Оцениваемые пожнивные остатки (миллионов тонн) в Индии (2006–2007 гг.)	100

Таблица 5.2	Анализ затрат и выгод применения компоста на основе пожнивных остатков (проса) в бассейне Оулд Пинат (Сенегал) в течение 25-летнего периода реализации проекта	101
Таблица 7.1	Устойчивость к CO ₂ различных видов микроводорослей	117

Перечень рисунков

Рисунок 2.1	Различные парниковые газы и их антропогенные источники	5
Рисунок 2.2	Выбросы парникового газа с/х сектором	6
Рисунок 2.3	Процентные доли различных секторов в выбросах двуокиси углерода (CO ₂)	10
Рисунок 2.4	Процентные доли выбросов по секторам (категории источников) закиси азота (N ₂ O)	11
Рисунок 2.5	Процентные доли различных секторов в выбросах метана (CH ₄)	14
Рисунок 2.6	Глобальные выбросы метана с/х источниками (2005)	15
Рисунок 3.1	Ингибиторы нитрификации (напр., DCD) снижают активность нитрифицирующих бактерий	23
Рисунок 3.2	Минимальное использование удобрения при большем размере гранул	24
Рисунок 3.3	С/х система нулевой обработки почвы	31
Рисунок 3.4	Фотография, демонтирующая нулевую обработку почвы посевным агрегатом	32
Рисунок 3.5	Нулевая обработка при севе кукурузы после сбора риса	32
Рисунок 3.6	Система гребневой обработки почвы	33
Рисунок 3.7	Обработка почвы с образованием мульчирующего слоя	34
Рисунок 3.8	Технология попеременного увлажнения и осушения (AWD) для смягчения последствий выделения метана. Уровень грунтовых вод понижается до состояния стресса (глубина – 15 см) с последующим затоплением	50
Рисунок 3.9	Агролесоводство и секвестрация углерода	64
Рисунок 3.10	Агролесоводство в Буркина Фасо пальмами из рода <i>Borassus akeassii</i> , кукурузой и акацией из рода <i>Faidherbia albida</i>	66
Рисунок 3.11	Система агролесоводства в Пенджабе, Индия	69
Рисунок 4.1	Процесс аммонификации соломы	73
Рисунок 4.2	Полимерные силосные мешки	75
Рисунок 5.1	Проницаемое соломенное покрытие	91
Рисунок 5.2	Керамзитовое покрытие (LECA) на бетонном навозохранилище	91

Рисунок 5.3	Схема тенка для биогаза бытового назначения в комплектации «три в одном»	95
Рисунок 5.4	Число тенков для биогаза бытового назначения в период 1990-2008 гг. в Китае	98
Рисунок 6.1	Бобовые культуры в качестве сидерата в органическом земледелии	106
Рисунок 6.2	Годовые вводимые затраты на чередование культур, включающих бобовые культуры, и традиционное чередование зерновых	106
Рисунок 7.1	Концептуальная микроводорослевая система комбинированного производства биотоплива, биоснижения выбросов CO ₂ и удаления N/P из сточных вод. Вводимые ресурсы: источник углерода, CO ₂ ; источники азота и фосфора, сточные воды с высоким содержанием азота и фосфора, солнечная энергия. Результаты: низкие	112
Рисунок 7.2	Преобразование микроводорослевой биомассы во вторичные продукты	113
Рисунок 7.3	Выращивание азоллы в открытом пруду	114

Сокращения и акронимы

<i>ACCase</i>	Ацетил Со-А карбоксилаза
<i>ACT</i>	Африканская сеть по сохранению пахотных земель
<i>AM</i>	Древовидный микоризный
<i>AWD</i>	Переменное увлажнение и высушивание
КР	Коэффициент рентабельности
С	Углерод
<i>C/N</i>	Соотношение содержания углерода и азота
<i>CBM</i>	Угольный метан
<i>CE</i>	СО эквивалент
<i>CFC</i>	Хлорфторуглерод
<i>CH₄</i>	Метан
<i>CO₂</i>	Двуокись углерода
<i>CO₂e</i>	Эквивалент двуокиси углерода
СКФ	Соотношение концентрата и фуража
<i>DAT</i>	Дни после пересадки
<i>DCD</i>	Дициандиамид
ДДТ	(2, 2-дихлордифенилтрихлорэтан)
СВ	Сухое вещество
СС	сухой сезон
СИ	Суммарное испарение
ФАО	Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН
<i>FCM</i>	Молоко 4%-ной жирности
<i>FRB</i>	Железовосстанавливающие бактерии

СН	Стойловый навоз
ПГ	Парниковый газ
ГМ	Генетически модифицированный
ПГП	Потенциал глобального потепления
МНИИР	Международный научно-исследовательский институт риса
К	Калий
<i>LECA</i>	Керамзит
<i>MOP</i>	Хлористый калий
ТБО	Твердые бытовые отходы
<i>N</i>	Азот
N_2O	Закись азота
NH_4^+-N	Аммиачная форма азота
NH_4NO_3	Нитрат аммония
NO_3^-	Нитрат
<i>NPK</i>	Азот, фосфор, калий
<i>NPV</i>	Чистая дисконтированная стоимость
<i>P</i>	Фосфор
<i>PB</i>	Цена биоугля
<i>ppbv</i>	Частей на миллиард (по объему)
<i>ppmv</i>	Частей на миллион (по объему)
<i>PV</i>	Дисконтированная стоимость
<i>RMB</i>	Юань (Официальная валюта Китая, также <i>CNY</i>)
<i>SBT butanoate</i>	S. бензилизохинолин бутонат
<i>SOC</i>	Органический углерод в почве
СВБ	Сульфатвосстанавливающие бактерии
TNA	Оценка технологических потребностей
СД	Сезон дождей

Преобразование единиц

ПГП (Потенциал глобального потепления) *		
Газ	GWP	Название единицы
CO ₂	1	CO ₂ е (единица массы CO ₂)
CH ₄	25	CO ₂ е (единица массы CO ₂)
N ₂ O	298	CO ₂ е (единица массы CO ₂)

(*) Значения представлены выше согласно МГЭИК РГ I, Четвертый отчет по оценке, Форстер и др. (Forster et al., (2007)). Значения согласно РКООНИК для CO₂, CH₄ и N₂O равняются 1, 21 и 310, соответственно.

Единицы в системе СИ		
Физическая величина	Название единицы	Обозначение
Длина	Метр	м
Масса	Килограмм	кг
Время	Секунда	с
Термодинамическая температура	Кельвин	К
Объем	Литр	л
Количество вещества	Моль	моль

СИ (десятичные знаки)					
Доля	Приставка	Обозначение	Кратность	Приставка	Обозначение
10 ⁻¹	деци	d	10	дека	da
10 ⁻²	санти	c	10 ²	гектор	h
10 ⁻³	милли	m	10 ³	кило	k
10 ⁻⁶	микро	μ	10 ⁶	мега	M
10 ⁻⁹	нано	n	10 ⁹	гига	G
10 ⁻¹²	пико	p	10 ¹²	тера	T
10 ⁻¹⁵	фемто	f	10 ¹⁵	пета	P
			10 ¹⁸	эта	E

Десятые доли и степени, имеющие особые названия в системе СИ

Физическая величина	Название единицы СИ	Обозначение единицы СИ	Определение единицы
Площадь	Гектар	Га	10^4 м^2
Масса	Тонна	т	10^3 кг

Единицы, не входящие в Международную систему единиц

ppmv	Частей на миллион (10^6) по объему
ppbv	Частей на миллион (10^9) по объему
Акр	Единица измерения площади земли. Один акр равен 0,405 га

Предисловие

Доля выбросов парниковых газов, приходящаяся на сельское хозяйство, составляет сегодня, приблизительно, 13 %, что является значительным показателем от общего количества. По ожиданиям, сельскохозяйственные выбросы в атмосферу увеличатся в связи с растущим спросом на продовольственные продукты, топливо, волокно, и другие материалы, поставляемые сельским хозяйством. При этом, новые технологии и сельскохозяйственные практики, связаны обещанием сокращать выбросы ПГ с/х сектора.

В данном Руководстве описываются технологии и практики управления с/х культурами и животноводством, способствующие смягчению последствий изменения климата, улучшая, при этом, урожайность с/х культур, снижая зависимость от синтетических удобрений и водопотребления. Соавторами Руководства выступили всемирно признанные эксперты в области с/х культур, животноводства, атмосферных выбросов и экономики, и мы благодарны им за их усилия в подготовке этой междисциплинарной публикации.

Эта публикация является частью серии технических Руководств, подготовленных Центром ЮНЕП в Рисо по вопросам энергетики, климата и устойчивого развития (*URC*) как компонента проекта по Оценке технологических потребностей (*TNA*) (<http://tech-action.org>), который оказывает помощь развивающимся странам в идентификации и анализе приоритетных технологических потребностей по вопросам смягчения последствий изменения климата климата и адаптации к нему. В процессе *TNA* участвуют различные заинтересованные лица, его консультативный характер позволяет им понять свои технологические потребности как комплекс проблем и подготовить соответствующие Технологические планы действий (*TAP*).

Проект *TNA* финансируется Глобальным экологическим фондом (*GEF*) и осуществляется ЮНЕП и *URC* (Центр ЮНЕП в Рисо) в 36 развивающихся странах.

Йорг Рогат
(Jorge Rogat)
Центр ЮНЕП в Рисо

Марк Радка
(Mark Radka)
ЮНЕП *DTIE*

Выражение признательности

Мы благодарим Джиоти Пайнули (Jyoti Painuly) за подготовку процесса и рецензирование Руководства. Мы также благодарим Ксиэнли Чжу (*Xianli Zhu*) за то, что она нашла рецензентов и помогла с комментариями первоначального варианта. Педро Филипе Каркеиха (*Pedro Filipe Carqueija*) и Прия Пайнули (*Priya Painuly*) помогли в работе с диаграммами и рецензированием литературы, а Джесса Боанас-Дьюис (*Jessa Boanas-Dewes*) – с лингвистическим редактированием.

Мы также благодарны за помощь двум рецензентам, особенно Джереми Хэггеру (*Jeremy Hagger*) из университета Гринвича, Великобритания, и анонимному рецензенту, предложения которого помогли значительно улучшить это Руководство.

Авторы

Лица, принявшие участие в подготовке

Д.С. Апреди (*upretydc@gmail.com*)

Д. К. Апреди, *FNASc* (Национальная академия наук Индии) имеет звание Заслуженного ученого в Индийском сельскохозяйственном научно-исследовательском институте (*IARI*), Нью-Дели. Он руководит южноазиатской и индийской программой по исследованию обогащения CO_2 и технологии. Он работает над различными проблемами глобального изменения климата на протяжении 47 лет в Индии. Он опубликовал более 140 работ в международных и национальных журналах, включая несколько книг и главы в книгах.

Subash Dhar (*sudh@dtu.dk*)

Субаш является старшим экономистом Центра ЮНЕП в Рисо, Дания. Он много работал над моделями «энергия-окружающая среда» семейства *MARKAL* и *AIM*.. В настоящее время, его исследовательские интересы включают устойчивый транспорт, низкоуглеродное развитие, передачу технологий, изменение климата и энергетические рынки.

Донг Хонгмин (*Dong Hongmin (donghm@ieda.org.cn)*)

ДОНГ Хонгмин является профессором института окружающей среды и устойчивого развития в области сельского хозяйства, Китайской академии сельскохозяйственных наук, Китай. Ее исследовательские интересы включают качество среды обитания домашнего скота, технологию обработки навоза, выбросы парникового газа и снижение его производства в сфере скотоводства.

Брюс А. Кимбол (*Bruce A. Kimball (Bruce.Kimball@ars.usda.gov)*)

Брюс А. Кимбол – бывший сотрудник Американского сельскохозяйственного исследовательского центра засушливых земель (*ARS USDA*) в Марикопе (*Maricopa*), Аризона, США. В фокусе его исследовательских интересов находятся вопросы повышения CO_2 и температуры, а также другие взаимосвязанные факторы, действующие на рост с/х культур. Он первым начал использовать технологию *CO₂-FACE/T-FACE* (CO_2 атмосферного воздуха терморегулируемое повышение) для таких исследований.

Амит Гарг (*Amit Garg (amitgarg@iimahd.ernet.in)*)

Амит Гарг является профессором Индийского института управления, Ахмедабада (*Ahmedabad*), Индия. Он работает над оценкой выбросов ПГ и моделированием прогнозов, технологий и вариантов смягчения последствий изменения климата в различных секторах, увязывая устойчивое развитие с изменением климата, рынками квот на эмиссию двуокси углерода, экологически чистую энергию, и национальными коммуникациями развивающихся стран.

Джикиша Ападхиэй (*Jigeesha Upadhyay (jigshau@iimahd.ernet.in)*)

Джикиша является научным сотрудником Индийского института управления в Ахмедабаде. Она работает над энергоэффективностью и взаимосвязью между смягчением последствий выбросов ПГ, устойчивым развитием и с/х сектором.

1. Введение и краткое содержание Руководства

Данное Руководство направлено на поддержку развивающихся стран в их выборе технологий, которые могут помочь смягчить последствия выбросов парникового газа (ПГ) в результате деятельности сельскохозяйственного сектора и содействовать его жизнеспособности. Выбросы ПГ в результате деятельности сельского хозяйства, главным образом, вызваны тремя газами: двуокись углерода (CO_2), метан (CH_4), и закись азота (N_2O). Существует шесть основных методов смягчения последствий выделения этих газов, в результате деятельности с/х сектора (Смит и др. *al.* (*Smith et. al., 2008*)).

1. Управление пахотными землями
2. Управление скотоводством
3. Управление органическими удобрениями/твердыми биологическими отходами
4. Биоэнергия
5. Управление пастбищными угодьями/улучшение пастбищ
6. Управление органическими почвами и восстановление деградированных земель.

Мы добавили седьмую меру: концепцию органического сельского хозяйства, которое охватывает другие шесть мер. Эти семь мер способствуют уменьшению трех ключевых парниковых газов тремя способами:

1. Путем смягчения последствий выбросов CH_4 и закиси азота N_2O с/х сектором
2. Путем усовершенствования удаления атмосферных парниковых газов
3. Путем предупреждения выбросов ископаемого топлива, являющегося ресурсом для сельского хозяйства.

Это Руководство сосредотачивается на мерах 1 - 4 и органическом сельском хозяйстве. Каждая из этих мер может быть подразделена на действия, которые представлены рядом технологий (см. Таблицу 1.1). Таблица 1.1 построена на классификации, разработанной Смитом и др. (*Smith et. al., 2008*). Различные технологии, обсуждаемые в Руководстве, затем представляются в виде карты согласно этой классификации и выбросов газов, на которые направлена каждая технология. Это делается для того, чтобы представить читателю общую перспективу.

Таблица 1.1 Меры и действия, направленные на смягчение последствий выбросов ПГ с/х сектором (*)

Меры по смягчению последствий	Действие	Примеры обсуждаемой технологии	Эффекты смягчения последствий		
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Управление пахотными угодьями	Земледелие	С/х биотехнология	√	√	
		Технология защитных насаждений	√		
	Управление биогенными веществами	Технологии управления удобрениями	√		√
		Использование микоризы	√		
	Обработка почвы/ управление отходами	Нулевая обработка почвы, противозерозийная вспашка почвы	√		?
		Биоуголь	√		
	Управление водными ресурсами	Дождевальное и капельное орошение, сбор туманообразных и дождевых осадков (представлено в Руководстве по адаптационным технологиям)	?		√
	Управление рисом	Управление минеральными и органическими удобрениями		√	
		Среднесезонный отвод воды		√	√
		Переменное увлажнение и осушение		√	
		Использование калийных удобрений		√	
		Ингибиторы нитрификации		√	
		С/х биотехнологии		√	
		Смягчения последствий выделения метана путем ограниченной вспашки		√	
		Улучшение химических удобрений		√	
		Технология прямого посева		√	
		Коррекция метаногенной активности путем использования акцепторов электронов		√	
		Агролесоводство	√		?
Управление скотоводством	Усовершенствованные методы подкормки	Оптимизация подкормки		√	
		Использование аммонизированной соломы и силоса		√	
	специфические агенты и диетические добавки	ГМ бактерии рубца для снижения уровня метана		√	
	Более долгосрочные структурные и управленческие преобразования и животноводство	Виды животных и эффективность		√	

Меры по смягчению последствий	Действие	Примеры обсуждаемой технологии	Эффекты смягчения последствий		
			CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Управление органическими удобрениями/ твердыми биоотходами	Улучшенное хранение и обработка	Включает складские сооружения для орг. удобрений		√	?
	Анаэробное разложение с/х отходов (анаэробное сбраживание)	Управление пожнивными остатками		√	?
		Биогазовый реактор с извлечением метана		√	?
Биоэнергия	Энергетические культуры, твердые, жидкие, биогаз, отходы	Сельское хозяйство для производства биотоплива	√		?
		Микроводоросли также для производства биодизельного топлива)	√		
Интегрированные и иные технологии	Органическое сельское хозяйство		√	√	√

(*) Меры по смягчению последствий на основе работ Смита и др. (Smith et. al., 2008).

√ это означает, что технологии вносят положительный вклад в смягчение

? это означает, что смягчение последствий не вполне очевидно

В Главе 2 представлен обзор выбросов CO₂, CH₄ и N₂O сельскохозяйственным сектором и существующие стратегии по смягчению последствий выделения этих газов.

В Главах 3 по 7 представлены различные технологии по смягчению. Ниже перечислены технологии, рассматриваемые в Таблице 1.1, включая:

- Техническое описание
- Преимущества и недостатки
- Экономика и потенциал смягчения последствий
- Примеры с указанием мест, где это было реализовано
- Препятствия, с которыми сталкивается технология.

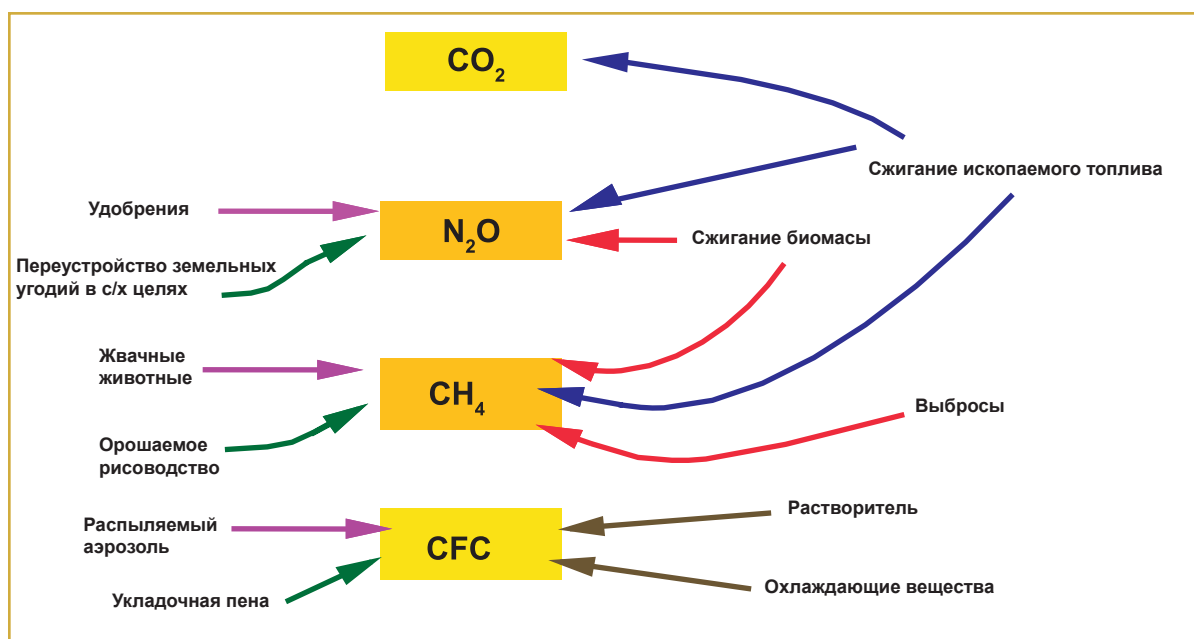
В этом Руководстве речь идет об обеих технологиях, которые уже продуманы и готовы к использованию и тех, у которых есть потенциал на будущее. Однако, в этой связи необходимы исследования на глобальном и местном уровнях.

В Главе 8 подчеркивается необходимость решения проблем, связанных с препятствиями, сопутствующими преимуществами, финансированием смягчения последствий изменения климата и адаптации технологий к местным условиям, включая проведение необходимых исследований.

2. Парниковые газы и сельское хозяйство

Сельское хозяйство является нашим основным источником питания, и оно особенно чувствительно к изменению климата. Антропогенная деятельность, включая сжигание ископаемого топлива для производства электроэнергии и целей промышленного производства, транспорта, сельского хозяйства, например, производства риса, использование синтетических удобрений, животноводство, изменение характера землепользования, например, вырубка леса и утилизация отходов способствовали увеличению концентрации парниковых газов в атмосфере (Рисунок 2.1). Это увеличение в значительной степени способствует изменению климата, приводящего к повышению глобальной температуры и другим стрессам (Хафтон и др. (*Houghton et al.*, 1996)).

Рисунок 2.1 Различные парниковые газы и их антропогенные источники



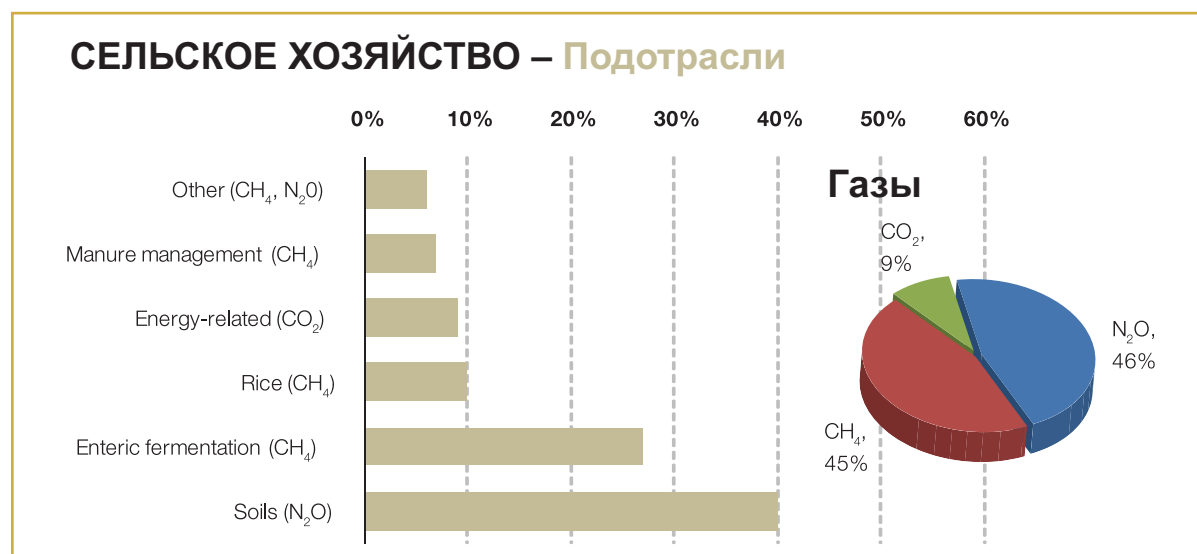
Источник: Апрети и др. (*Uprety et al.*), 1996

2.1 Доля в выбросах

Доля с/х сектора в общем количестве глобальных антропогенных выбросов парниковых газов составляет, приблизительно, 13 % (Баркер и др. (*Barker et al.*, 2007)), то есть, между 5 и 6 гигатоннами (Gt) эквивалентов CO₂ в год. По прогнозам, к 2030 г., этот показатель повысится почти на 40 %, в значительной степени вследствие увеличения спроса растущей численности населения и изменения структуры потребления питания, включая увеличение спроса на мясо

жвачных животных (Смит и др. (*Smith et al., 2007*). С/х сектор выбрасывает в атмосферу 3.3Gt метана (CH_4), 2.8Gt закиси азота (N_2O) и 0.04Gt углекислого газа (CO_2) в переводе на CO_2 ежегодно. Более половины глобальных выбросов закиси азота и метана являются результатом деятельности с/х сектора (Рисунок 2.2). Относительный потенциал глобального потепления (то есть, относительный показатель потепления по сравнению с той же самой массой CO_2 е) N_2O равен 298 (CO_2 е) и массой CH_4 равна 25 (CO_2 е) по сравнению с 1 (CO_2 е) CO (Forster и др. (*Forster et al., 2007*)). Закись азота выделяется, главным образом, неорганическими и органическими удобрениями, вносимыми в почву. Метан, в значительной степени, выделяется домашним скотом (ферментирование и переваривание), рисовыми полями и при обработке органических удобрений. Двуокись углерода выделяется, главным образом, при микробиологическом разложении растительного опада и органического вещества почвы, а также при сжигании отходов производственных предприятий (Смит (*Smith, 2004*)).

Рисунок 2.2 Выбросы парникового газа с/х сектором



Источник: Кастерине и Ванзетти (*Kasterine and Vanzetti (2010)*)

Концентрации CO_2 , CH_4 и N_2O в 1750 г. до н.э. составляли 280 ppm, 715 ppb, и 270 ppb, соответственно. К 2005 г., эти показатели увеличились до 379 ppm, 1774 ppb, и 319 ppb, соответственно (МГЭИК, 2007). Полученные по ледяному керну показатели по CO_2 , CH_4 и N_2O подтвердили, что их концентрации в атмосфере выше, чем в любой конкретный период времени за прошедшие 65 000 лет (Лонг и др. (*Long et al., 2004*)). Общее количество атмосферных парниковых газов (CO_2 , CH_4 и N_2O) выросло по экспоненте от 3.08 до 6.51 млрд тонн между 1961 и 2005 годами вместе с увеличением населения на земном шаре. Таким образом, наблюдается положительное соотношение между количеством населения и выбросами N_2O и CH_4 по странам, включая Индию и Бразилию (Ванбик и др. (*Vanbeek et al., 2010*)). Урожайность за этот период времени увеличилась с 1,8 до 4,8 млрд тонн в год. Пахотные угодья на планете расширились от 960 Мга до 1 208 Мга. Общая урожайность возросла с 1,84 т/га до 3,96 т/га. Это увеличение сельскохозяйственного производства вследствие использования N-удобрений привело к 1,4-1,7Gt выбросов ПГ, то есть,

10 - 12 % от общего количества антропогенных выбросов, включая 0,76Gt CO₂ и N₂O и 0,90Gt CO₂ и CH₄, составляя 58 % и 47 % сельскохозяйственных выбросов, соответственно.

2.2 Смягчение последствий изменения климата

С/х сектор также способствует значительному уменьшению ПГ, действуя в качестве приёмника 10 % выбросов ПГ. Сельское хозяйство способствует смягчению последствий глобальных выбросов ПГ, приблизительно, на 32 %, поглощая выбросы CO₂, путем компенсации выбросов углекислого газа посредством производства биотоплива на 42 %, смягчением последствий выбросов метана на 15 %, и смягчением последствий выбросов N₂O на 10 % (МГЭИК, 2007).

Смягчение последствий может быть достигнуто посредством интенсификации и экстенсификации сельского хозяйства. Интенсификация может увеличить выбросы ПГ в пересчете на гектар вследствие использования большого количества удобрений, экстенсивной механизированной обработки почвы, интенсивного использования пестицидов, и использования неорганических удобрений. В то же время, оно может снизить общую потребность в расширении земельных угодий и общее количество сельскохозяйственных выбросов, то есть снизить «углеродный след» на кг продукта. Экстенсификация ведет к смягчению последствий выбросов в пересчете на гектар вследствие меньшего использования удобрений, труда, капитала и меньшего количества механизации, в то время как общая потребность в земельных угодьях может возрасти незначительно.

Стратегии смягчения последствий выбросов, в целом, группируются следующим образом: (1) повышение объема поглотителей для секвестрации CO₂ (2) смягчение последствий с/х выбросов, и (3) предотвращение выбросов путем использования замещающих продуктов или предупреждения изменений в землепользовании. Шнайдер и Кумар (*Schneider and Kumar* (2008)) интерпретировали поглотители как реверсирование сельскохозяйственных выбросов в прошлом, включающих углеродную секвестрацию в почвах и увеличение производства биомассы путем изменения управления и изменений в землепользовании. Потенциальное смягчение последствий с/х выбросов включает более низкие выбросы CH₄ рисовыми полями, жвачными животными и органическими удобрениями; смягчением последствий выбросов N₂O в связи с изменением в использовании удобрений и управлением органическими удобрениями и смягчением последствий выбросов CO₂ посредством сокращения потребления ископаемого топлива в сельском хозяйстве. Предотвращение выбросов путем использования замещающих продуктов включает: предупреждение вырубки лесов, замену ископаемого топлива энергией на основе биомассы (например, этанол, биодизель) и использование биоматериала для замены продуктов, выделяющих ПГ (например, бамбука вместо алюминия).

Однако, эти стратегии должны применяться с учетом местных условий. Если пахотная земля будет использоваться под плантации энергетических культур, восстановления водно-болотных угодий и лесонасаждений, это приведет к сокращению площади земель, используемых для производства с/х культур и обеспечения продовольственной безопасности. Восстановление водно-болотных угодий может способствовать секвестрации большого количества CO₂, но это

также приведет к более значительному выделению метана. Энергетические культуры выступают как компенсаторы выбросов углекислого газа, но они могут также привести к нежелательным выбросам закиси азота (Крутцен и др. (*Crutzen et al.*, 2008)). Использование избыточных количеств N-удобрений, необходимых для выращивания энергетических культур, может привести к выделению большего количества выбросов закиси азота. Это может привести к еще большему глобальному потеплению из-за выделения N_2O , чем будет достигнуто поглощения тепла за счет экономии на ископаемом топливе. Однако, с/х культуры, которые нуждаются в меньшем количестве азота, такие как травы и древесные породы, могут оказать положительное воздействие на климат, то есть обеспечить абсолютное сокращение в пересчете на выбросы ПГ.

Разработка технологий для смягчения воздействия ПГ и адаптация их для использования в с/х системах потребует также и инновационных политик и институтов. Технологии по смягчению вряд ли будут дешевыми или легкими, однако, затраты и сложности, связанные с технологиями смягчения, наверняка, будут меньше, чем потери, вызванные изменением климата.

Возможности смягчения последствий выделения ПГ в сельском хозяйстве, направленные также и на поддержку производства пищевых продуктов, включают:

- a) Увеличение хранения углерода вследствие улучшения управления земледелием и пастбищами.
- b) Смягчение последствий выбросов метана благодаря использованию улучшенных методов выращивания риса и управлению рационом питания домашнего скота.
- c) Смягчение последствий выбросов закиси азота путем применения улучшенных технологий по использованию N-удобрений.

Эти технологии уменьшения можно классифицировать на три категории:

1. Смягчение последствий выбросов парникового газа:

Управление потоком углерода и азота в агро-экосистемах при помощи:

- a) Методов, способствующих более эффективному поглощению с/х культурами N для смягчения последствий выбросов N_2O .
- b) Управление животноводством и рационом домашних животных для смягчения последствий выбросов CH_4 .
- c) Управление биогенными веществами и водными ресурсами при выращивании риса с целью улучшения секвестрации углерода и управления выбросами CH_4 .

2. Улучшение удаления атмосферных парниковых газов:

Секвестрация углерода:

- a) Используя любой метод, позволяющий повысить производительность культур, например, улучшенные сорта, что, таким образом требует меньшей площади земли для их

выращивания, одновременно обеспечивая большие количества растительных остатков для секвестрации С.

- b) Смягчение может быть обеспечено, приблизительно, на 90 % путем увеличения поглощения, используя углерод для развития зерен и преобразование CO_2 в продовольственные компоненты посредством балансирования источников и акцепторов.
- c) Использование экосистем агролесоводства для увеличения фотосинтетического хранения углерода.
- d) Удаление путем окисления атмосферного метана CH_4 на пахотных землях. Окисление атмосферного метана стимулируется метанотрофами почвы. В целом, это является характерным для метанотрофов типа II, такими как TRF35. Однако, механизм окисления атмосферного метана не вполне изучен. Скорость окисления CH_4 была самым тесным образом связана с влажностью почвы, а также со структурой метанотрофного сообщества и N- нитратом, извлекаемым углеродом и общей концентрации углерода.

3. Предупреждение выбросов:

Путем замещения ископаемого топлива биотопливом, такими как этанол и биодизель.

2.2.1 Смягчение последствий выделения CO_2

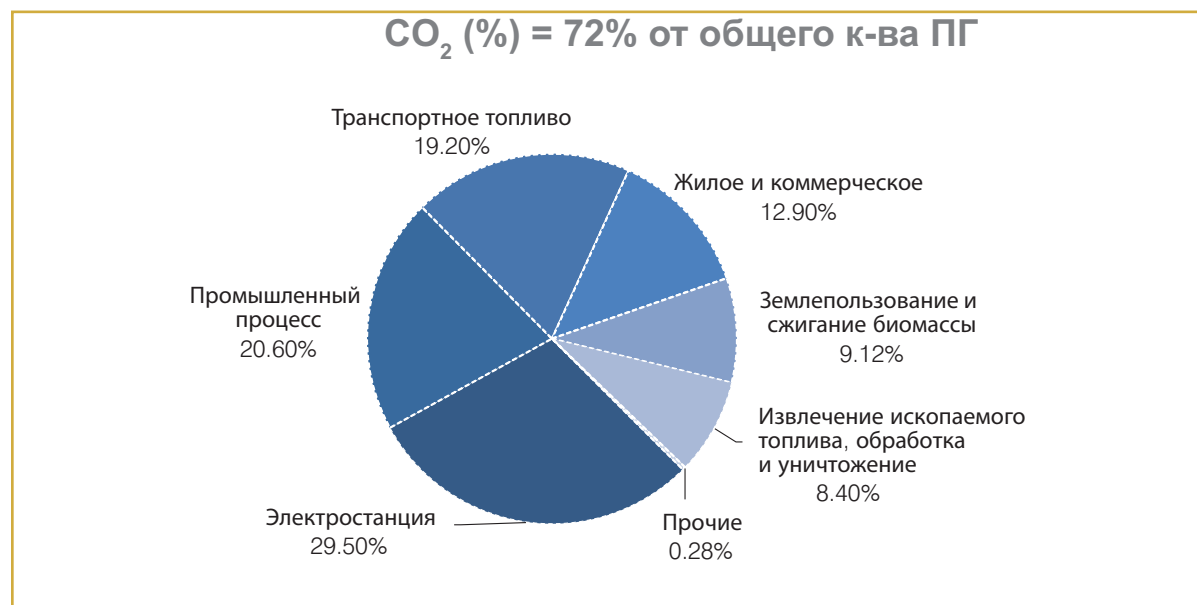
Доля двуокиси углерода в общем количестве выбросов парниковых газов составляет, приблизительно 72% (Хафтон и др. (*Houghton et al.*, 1996)). Ископаемое топливо, сжигаемое на электрических станциях, составляет самую большую категорию выбросов (29,50%) CO_2 . Другие категории включают промышленные процессы (20,60%); транспортное топливо (19,20%); бытовая и коммерческая деятельность (12,90%); изменение землепользования и сжигание биомассы (9,12%); извлечение ископаемого топлива, переработка и уничтожение (8,40%). (Ропак и др. (*Raupach et al.*, 2007)) см. рисунок 2.3.

Антропогенная деятельность, например, сжигание ископаемого топлива и вырубка леса приводят к увеличению концентрации поглощаемого из атмосферы CO_2 со скоростью 1,8 ppmv в год, что означает, что, как ожидается, к 2050 г. этот показатель достигнет 550 ppmv (МГЭИК, 2007). В настоящее время концентрация атмосферного CO_2 выше, чем она была в какой-либо момент времени за прошедшие 65 000 лет (МГЭИК, 2007). Сжигание ископаемого топлива дает 5,7Gt, вырубка леса добавляет в атмосферу 2,3Gt CO_2 , что дает общий показатель 8,0Gt углерода в год. Органический углерод почвы (ОУП/SOC) понизился за прошедшие 40 лет на 50 % от его первоначального значения вследствие деградации почвы, вызванной изменением климата (Лал (*Lal*, 2004)). Снижение SOC стало весьма значительным за прошедшие несколько лет и тесно связано с потерей урожайности некоторых сельскохозяйственных культур. Поэтому, углерод необходимо сохранять в почве при минимальном выделении CO_2 в атмосферу.

Технологии секвестрации и смягчения воздействий CO₂

Секвестрация углерода биологическими системами обычно рассматривается как способ консервации углерода. Существуют и другие технологии преобразования атмосферного CO₂ в другие химические продукты, как например метанол и прочие подобные органические субстраты. Однако, улавливание углерода в с/х системе связано с производительностью с-х растений и считается одним из лучших способов сохранения углерода в биологической системе. Оно определяется как хранение углерода в твердой устойчивой форме посредством прямой или опосредованной фиксации атмосферной двуокиси углерода. Секвестрация CO₂ для связывания углерода является научным и техническим подходом к смягчению последствий выделения CO₂ в атмосферу. В глобальном углеродном цикле, углерод непрерывно движется между почвой и атмосферой. Он поступает в почву путем фотосинтеза, происходящего в листьях растений и органической материи, полученной из растений (поступление CO₂), и покидает ее благодаря дыханию корней растений и микроорганизмов почвы в процессе разложения органического вещества (отток CO₂). Согласно Конанту и др. (*Conant et al. (2001)*), преобразование пашни в пар связывает от 0,1 до 1 метрической тонны С га⁻¹год⁻¹, в зависимости от типа биома, при этом максимальное улавливание углерода происходит на сенокосных угодьях в лесистой местности. Другие методы управления включают внесение удобрений, что может обеспечить улавливание 0,3 метрических тонн С га⁻¹год⁻¹; и орошение – 0,2 метрические тонны С га⁻¹год⁻¹, Конант и др. (*Conant et al. (2001)*). Баркер и др. (*Barker et al. (2007)*) отметили, что показатель в 89 % по смягчению последствий выделения ПГ в с/х секторе может быть достигнут путем улавливания углерода, а остальные 11 % – посредством смягчения последствий выделений закиси азота и метана.

Рисунок 2.3 Процентные доли различных секторов в выбросах двуокиси углерода (CO₂)

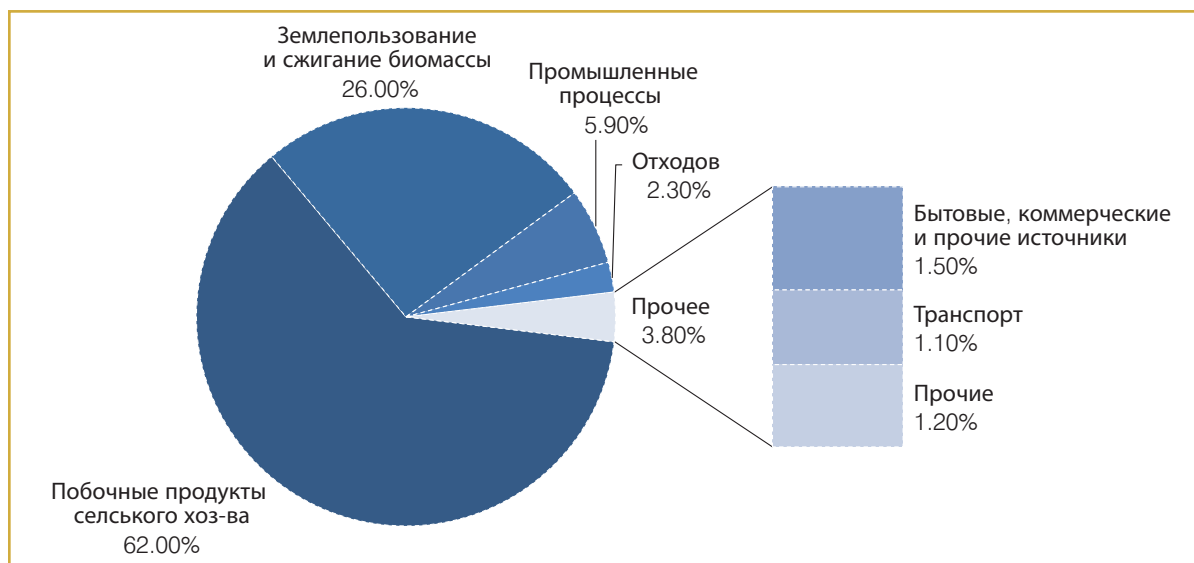


Источник: МГЭИК, Краткое сообщение для разработчиков политик в области изменения климата, 2007

2.2.2 Смягчение последствий выделения N_2O

Сельское хозяйство является основным виновником выбросов закиси азота (N_2O) в атмосферу. Процент глобальных выбросов N_2O , относимых к сельскохозяйственным побочным продуктам, включая, различные виды удобрений, технологии их применения и землепользования составляет 62 %. Доля, приходящаяся на сжигание биомассы, составляет 26 %; производственные процессы добавляют 5,9 %; вывоз отходов – 2,3 %; жилые, коммерческие, и другие источники – 1,5 %, и транспорт – 1,1 % (Рисунок 2.4). Выделение N_2O почвой вызвано микробным метаболизмом азота посредством нитрификации (окислительный путь) и денитрификации (восстановительный путь). N_2O с атмосферной концентрацией 319 ppbv составляет 7,9 % от общего объема парниковых газов (МГЭИК, 2007). Глобальные выбросы N_2O сельскохозяйственным сектором являются результатом, главным образом, управления пахотными почвами, управления удобрениями и системами ризосферы несвязанные с возделыванием с-х культур. (Таблица 2.1).

Рисунок 2.4 Процентные доли выбросов по секторам (категории источников) закиси азота (N_2O)



Источник: МГЭИК, Краткое сообщение для разработчиков политики по изменению климата, 2007

Таблица 2.1 Глобальные годовые выбросы N_2O с/х сектором

Источник выбросов	Глобальные выбросы N_2O (Gg N_4O)
Управление сельскохозяйственными почвами	3900 (62%)
Управление навозом	300 (4,8%)
Косвенные выбросы систем не с/х культур	2100 (33%)
Всего	6300

Источник: Мосир и др. (Mosier et al.), 1998

Мочевина и нитрат аммония ($\text{NH}_4 \text{NO}_3$) являются широко используемыми удобрениями с годовыми нормами потребления 28 и 17 млн тонн азота, соответственно. Умеренные регионы потребляют 61 % от общего количества, глобально используемых N удобрений, в то время как субтропические и тропические регионы используют только 29 % и 9 %, соответственно. Выделение N_2O почвой, удобренной мочевиной было значительно выше по сравнению с нитратом аммония. Нитрат аммония сыграл положительную роль в сокращении волатильности NH_3 и выбросах N_2O (Мак Тэггарт и др. (Mc Taggart et al., 1994)).

Большая часть с/х почв выделяет N_2O в количестве 1,5 % от внесенного азота (Постян и др. (Paustian et al., 2004)). Уменьшение использования N сокращает выбросы N_2O . Только половина вносимого N улавливается биомассой с/х культур, остальное теряется системой путем выщелачивания и газообразных потерь. Любой метод, способствующий усилению связи между выделением почвой азота и растущей с/х культурой, улучшает эффективность использования подпитки и уменьшает потребность в экзогенном N, сокращая выделение N_2O . Любой метод, сохраняющий N в рамках системы, может также способствовать смягчению последствий выбросов N_2O .

Контроль за выбросами N_2O на уровне фермерского хозяйства можно разбить на следующие категории:

- a) Структурные меры
- b) Технологические меры
- c) Управленческие меры

Структурные меры, такие как уменьшение объема производства и количества животных посредством квот эффективны, но очень дороги. Например, структурные меры, используемые правительством Нидерландов (выкуп прав животных и понижение квот на молоко), уменьшили национальные выбросы N_2O на 10 % (Куикман и др. (Kuikman et al., 2003)). Технологические меры, такие как система содержания скота в помещении, методы применения навоза, его обработка, тип удобрений, кормовые добавки, и повышение качества используемых удобрений могут также помочь в смягчении последствий выбросов ПГ. Например, Кимура и др. (Kimura et al (1992)) предположили, что внекорневое внесение N удобрений ($(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$) сократит выбросы CH_4 на 5-25 %. Управленческие меры, направленные на эффективное использование N, сосредотачиваются на повышении эффективности использования ресурсов (энергии, воды, кормов и питательных веществ). Наиболее многообещающие меры по смягчению последствий выбросов N_2O включают корректировку системы выпаса, изменения в севообороте, и превращение постоянных лугопастбищных угодий во временные. Куикман и др. (Kuikman et al (2003)) отметили, что реализация политики использования органических удобрений повысит эффективность использования N на уровне фермерских хозяйств на два порядка в течение пяти лет, что может уменьшить выбросы N_2O , приблизительно, на 30 % в Нидерландах (Таблица 2.2).

Таблица 2.2 Выбросы N_2O (Gg N_2O) в Нидерландах

Источники выбросов N_2O	1990	1997	2000	2010
1. Выделение N_2O непосредственно с/х почвами	13,0	17,1	15,4	11,9
2. Животноводство (выпас и хранение)	3,8	3,5	2,5	2,6
3. Косвенные выбросы N_2O с/х почвами	4,7	4,7	4,7	4,7
Итого	21,5	25,3	22,6	19,2

Источник: Оливер и др. (Olivier et al.), 2003

Исследование в Нидерландах продемонстрировало, что:

1. Использование неорганических удобрений на лугопастбищных угодьях приводит к более низким выбросам N_2O , чем экскременты скота.
2. Применение удобрения в малых дозах сокращает выделение лугопастбищными угодьями N_2O .
3. Дробное внесение удобрений уменьшает выделение лугопастбищными угодьями N_2O .
4. Разбросное одноразовое внесение сокращает выделение N_2O по сравнению с применением удобрений на глубине 5-10 см.

Технологии смягчения воздействий

Велтхоф и др. (Velthof et al (2002; 2003)) и Грёнинген и др. (Groenigen et al (2004)) описали различные технологии смягчения воздействий выбросов закиси азота по секторам сельского хозяйства:

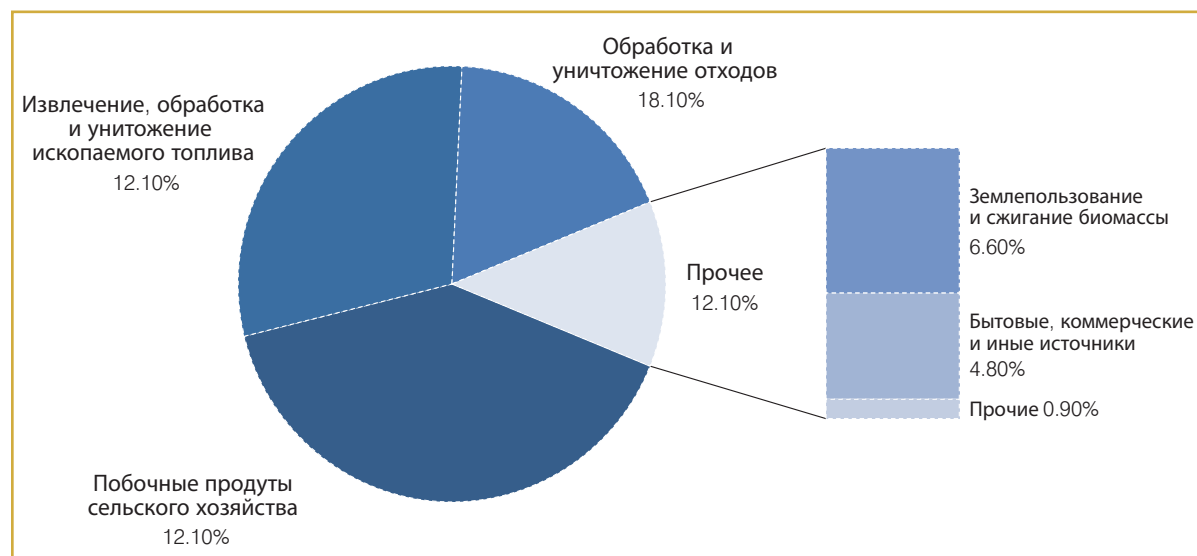
1. Анализы азота в почве могут помочь сократить чрезмерное использование удобрений, что приведет к смягчению последствий выбросов N_2O .
2. Выбор времени для внесения удобрений: внесение удобрений одновременно с активным ростом с/х культур сокращает выделение N_2O в атмосферу.
3. Распределение удобрений: точное распределение удобрения в ризосфере может повысить эффективность использования азота. Это также сокращает выбросы N_2O . Этот метод экономичен и позволяет сэкономить большое количество N удобрений, которые, в других случаях, могут просто тратиться впустую.
4. Нитрификация и ингибиторы уреазы: азот в виде аммиака, должен быть нитрифицирован в N_2O прежде, чем произойдет денитрификация. Ингибиторы задерживают преобразование NH_4 в NO_3 и мочевины в аммиак, чтобы соответствовать потребностям с/х культуры.
5. Защитные насаждения: защитные насаждения могут предупредить потери азота остаточной почвой и сократить выбросы N_2O .
6. Хранение отходов животноводства анаэробным методом минимизирует выделение N_2O в атмосферу, и снижают его выделение после хранения.

7. Косвенные выбросы землями под культурами несельскохозяйственного назначения: высадка деревьев около (речных берегов) прибрежных зон сокращает выбросы N_2O .

2.2.3 Смягчение последствий выделения CH_4

Метан составляет 18 % от общего объема выбросов парниковых газов. Его относят к побочным сельскохозяйственным продуктам (40 %); добыча ископаемого топлива, обработка и уничтожение (29,60 %); обработка при утилизации отходов (18,10 %); землепользование и сжигание биомассы (6,60 %); бытовые и коммерческие источники (4,80 %); и другие источники (0,90 %) (Рисунок 2.5).

Рисунок 2.5 Процентные доли различных секторов в выбросах метана (CH_4)



Источник: МГЭИК, Краткое сообщение для разработчиков политики по изменению климата, 2007

Доля метана в изменении климата весьма существенна, при этом большая часть выделяемого метана поступает от с/х сектора. Действие метана в 21 раз сильнее, чем CO_2 с точки зрения удерживания тепла в атмосфере. Со временем, выбросы метана увеличиваются. Например, в 2000 г., выбросы метана составили 6.0Gt, или 15 % от общего объема выбросов ПГ, по сравнению с 5.8Gt CO_2 десятилетием ранее (Управление по охране окружающей среды США, 2006а). Метан производится при разложении органических материалов в лишенных кислорода условиях. Эти условия, главным образом, создаются при: ферментативном переваривании в кишечнике жвачных домашних животных (например, рогатого скота), аккумулировании органических удобрений, и производстве риса в условиях орошения затоплением. Из перечисленного, ферментация в кишечнике является главным источником, учитывая тот факт, что 58 % выбросов метана в 2000 г. явилось результатом сельскохозяйственной деятельности. Брожение микрофлоры вызывает 2 – 12 процентов от общего объема выделяемого метана. Жвачные животные (рогатый скот, овцы, и козы) являются главными источниками выбросов метана. Их выращивание требует 3 432 миллионов гектаров. В рубце этих животных содержатся бактерии, обеспечивающие

переваривание растительного материала, но, к сожалению, при этом ферментативном процессе происходит выделение метана (Рисунок 2.6).

Рисунок 2.6 Глобальные выбросы метана с/х источниками (2005)



Источник: Управление по охране окружающей среды США, 2006

Источники выброса метана

1. Домашний скот (кишечная ферментация и управление навозом)

Во время пищеварительных процессов производится большое количество метана, при этом углеводы преобразуются микроорганизмами в простые молекулы для поглощения в кровотоки жвачных животных (например, рогатого скота и овец).

2. Выращивание риса (затапливаемые рисовые поля)

Выделения метана происходят в результате анаэробного разложения на затапливаемых рисовых полях. Этот газ поступает в атмосферу, прежде всего, путем диффузионного переноса через растения риса в течение вегетационного периода. Рис, выращиваемый на возвышенности, не выделяет значительного количества CH_4 .

3. Рекомендуемое сжигание саванн

Саванны выжигаются, в среднем, каждые 1 - 4 года. При горении саванн происходят мгновенные выбросы CO_2 , а также CO , CH_4 , N_2O и окисей азота. CO_2 , выделяемый в атмосферу, повторно поглощается во время следующего вегетационного периода.

4. Сжигание сельскохозяйственных остатков в поле также провоцирует значительные выбросы метана.

2.3 Выводы

Существуют значительные возможности для смягчения воздействий ПГ в сельском хозяйстве. Однако, есть и много препятствий, которые необходимо преодолеть. Многие исследования (Смит и др. (Smith et al., 2005)) показали, что фактические уровни смягчения последствий выделения ПГ намного ниже технического потенциала этих мер. Разрыв между техническим потенциалом и реализуемым смягчением последствий выделения парникового газа происходит вследствие различных препятствий, включая климатические и неклиматические политики, а также институциональные, социальные, образовательные и экономические сдерживающие факторы. Общий биофизический потенциал равный, приблизительно, 5 500-6 000 Мт выбросов CO₂ в год, вряд ли когда-либо может быть достигнут вследствие упомянутых ограничений. Однако, при наличии соответствующих политик, образования и стимулов для сельского хозяйства, можно существенно смягчить последствия изменения климата к 2030 г. (Смит и др. (Smith et al., 2008)). Существующие технологии по смягчению последствий изменения климата находятся в различных стадиях их разработки, и требуется осуществить большое количество исследований и дополнительных разработок для того, чтобы эти технологии стали коммерчески жизнеспособными и пригодными к использованию. Эти технологические усовершенствования могут обеспечить возможность противостоять негативным воздействиям изменения климата в вопросах сохранения углерода пахотными и лугопастбищными угодьями, что указывает на то, что такие усовершенствования являются ключевым фактором в будущем смягчении воздействий ПГ.

3. Управление сельхозугодьями

Сельхозугодья предоставляют много возможностей для смягчения последствий выбросов (Таблица 1.1). Методы смягчения воздействий включают:

- Земледелие
- Управление биогенными веществами
- Управление пашней/остатками
- Управление водными ресурсами
- Управление рисом
- Агролесоводство
- Изменение в землепользовании.

3.1 Земледелие

Усовершенствование агротехнических практик, в целом, направлено на увеличение урожайности. Выращенный урожай люди или домашний скот, обычно, потребляют в пищу, и впоследствии, через дыхание, довольно быстро возвращают в атмосферу в виде CO_2 . Однако, во многих случаях, усовершенствования не изменяют процентное отношение массы урожая к полной массе с/х культур, что означает, что вырабатывается большое количество остаточного углерода, а это приводит к его сохранению в почве (Лал и др. (*Lal et al.*, 1998b; Смит и др. (*Smith et al.*, 2008))). Одним из примеров является использование биотехнологии для выведения улучшенных сортов с/х культур с большей устойчивостью к насекомым и/или болезням, что ведет к увеличению доходов и соответствующим увеличениям остатков, которые можно использовать для секвестрации. Второй путь состоит в том, чтобы улучшить усвояемость пастбищных культур, используя технологии генной модификации (ГМ) для смягчения последствий выделения метана жвачными животными и выделения закиси азота экскрементами животных. Третий путь смягчения последствий выбросов состоит в использовании систем земледелия, снижающих зависимость от пестицидов, азотных удобрений и других расходных материалов, которые требуют производства ископаемого топлива. Хорошим примером этому является севооборот с использованием бобовых культур. Четвертый метод состоит в использовании временных покровных насаждений между сельскохозяйственными культурами. Помимо внесения дополнительного углерода в почву, временные покровные насаждения усваивают неиспользованный азот, таким образом сокращая выбросы N_2O .

3.1.1 Сельскохозяйственная биотехнология по производству сортов с/х культур с повышенной секвестрацией углерода

i. Определение технологии

Этот биологический подход построен на использовании традиционного растениеводства и более новых биотехнологических методов, направленных на селекцию и выведение сортов с/х культур с большим потенциалом поглощения углерода.

ii. Описание технологии

Сельскохозяйственная биотехнология является многообещающим инструментом для выведения качеств и видов культур, которые помогут адаптироваться к изменению климата. Сельскохозяйственные ГМ культуры, устойчивые к вредителям (Bt) и гербицидам, и сорта, выведенные традиционным способом с использованием селекции на основе маркеров, вводимых в культуру тканей помогли сельскому хозяйству в улучшении урожайности и повышении устойчивости к болезням. Если бы ГМ культуры не использовались для поддержания или повышения урожайности, понадобилось бы использовать дополнительные площади земли, для чего, вполне вероятно, пришлось бы вырубать леса или потеснить другие более естественные экосистемы, улавливающие углерод, который выделялся бы при выращивании с/х культур. Существует три способа для смягчения последствий выбросов ПГ ГМ-культурами: (1) повышение производительности и количество улавливаемого остаточного углерода, (2) гербицидо-резистентные сорта, обеспечивающие нулевую обработку почвы, что позволяет сохранить удаление углерода, и (3) сокращение количества используемого ископаемого топлива и орудий труда в связи с использованием нулевой обработки почвы (no-till), поскольку она требует меньшего прохождения оборудования по полю.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

1. Большое преимущество биотехнологии состоит в том, что, помимо увеличения улавливания углерода, она может помочь в улучшении урожайности хлебных злаков.
2. Отбирая путем селекции культурные сорта растений, которые более чувствительны к CO_2 на возвышенностях и более устойчивы к тепловым нагрузкам, можно получить с/х культуры, которые будут лучше адаптированы к будущим климатическим условиям.

Недостатки

1. Метод, в целом, требует несколько лет и поколений растений для осуществления запланированного, потому что урожайность и поглощение углерода зависят от многих абиотических и биотических факторов. Темп создания сорта может быть медленнее, чем изменения в плане атмосферного CO_2 и климата.

2. Необходимы целые новые программы исследований для того, чтобы идентифицировать сорта и характеристики, чувствительные к увеличению атмосферного CO₂ и глобальному потеплению, а также их взаимодействие и влияние на урожайность, качество зерна, водные отношения, и устойчивость с/х культур к вредителям; при этом, такое исследование является дорогостоящим (например, см. Эйнсворт и др. (*Ainsworth et al.*, 2008)).
3. Для достижения успехов, селекция нуждается в гермоплазме, которая отличается по многим характеристикам, и диапазон различий решающих характеристик, необходимых для адаптации к изменению климата, может быть недостаточным.
4. Для многих сортовых гибридов необходимы вегетационные камеры или теплицы с горшечной рассадой, что затрудняет прогнозирование их устойчивости в полевых условиях.

iv. Экономика и потенциал смягчения воздействий

Сорта повышенной урожайности, в любом случае, более доходны для фермеров. Многие коммерческие семеноводческие компании чрезвычайно успешны. Поэтому, любая экономика, направленная на улучшение сортов, будь то традиционной селекцией, или биотехнологией, всегда была успешной и, скорее всего, будет оставаться таковой и при будущем изменении климата. Как упоминалось выше, улучшенные сорта растений не только улучшают урожайность и повышают устойчивость к заболеваниям, но и способствуют уменьшению выбросов ПГ путем снижения спроса на сельскохозяйственные угодья и ресурсы на основе ископаемого топлива. ГМ культуры обеспечивают консервацию более 14 200 млн кг CO₂, что эквивалентно изъятию из обращения более 6 млн легковых автомобилей по состоянию только лишь на 2007 год (Брукс и Барфут (*Brookes and Barfoot*, 2009)).

v. Примеры/места, где технология реализуется в настоящее время

Традиционная селекция растений практикуется во всем мире с целью улучшения сортов культур, зачастую с целью адаптации их к местным условиям произрастания. Более новая биотехнология требует специализированного оборудования и лабораторий, а также более обученного персонала; поэтому, эта технология ограничена более развитыми странами. Из-за высокой стоимости средств, необходимых для создания условий произрастания на возвышенностях и при повышенной температуре и уровне CO₂, что ожидается при глобальном изменении климата, проводится недостаточно полевых экспериментов (например, см. Эйнсворт и др. (*Ainsworth et al.*, 2008)), и они обычно проводятся в развитых странах, а также в Китае и Индии, как исключения. Приблизительно 250 млн акров, на которых, с использованием биотехнологии, выращиваются кукуруза, канولا, хлопок, соя, папайя, сахарная свекла, сахарная кукуруза и бахчевые культуры позволили фермерам во всем мире увеличить свои доходы на, приблизительно, \$27 млрд и сократить применение пестицидов на 224 млн кг, а также воздействие пестицидов на окружающую среду на 14 %, и выбросов ПГ – на 960 млн кг CO₂ (Брукс и Бэрфут (*Brookes and Barefoot*, 2009)). На основе вышеупомянутых преимуществ ГМ культур несколько компаний, таких как Monsanto, Syngenta и Pioneer-DuPont начали использовать эти гермоплазмы в своих научно-исследовательских разработках.

vi. Препятствия в распространении

Сорта культур, выведенные традиционными методами селекции растений беспрепятственно распространяются и воспринимаются во всем мире. Однако, сорта культур, полученных при использовании ГМ технологий сталкиваются с неприятием потребителей в некоторых частях мира, особенно в Европе. Более того, полученные семена зачастую относительно дорогостоящи и могут оказаться недоступными для самых бедных фермеров.

3.1.2 Технология покровных насаждений

i. Определение технологии

Покровные насаждения – это быстро растущие с/х культуры, такие как зимняя рожь и клевер, которые сеются между периодами сева согласно установленному севообороту. Покрывая поверхность почвы, они защищают ее от эрозии, и если почва засеивается бобовыми культурами, то они фиксируют азот. Затем, при запашке, они дают почве перегной, углерод и азот для последующей культуры.

ii. Описание технологии

Покровные насаждения являются эффективным методом для смягчения последствий выбросов CO₂. Эти культуры растут на всей площади земельного участка или в отдельных его местах, таких как задернованные водотоки, по краям полей, и в ветрозащитных полосах. По сравнению с вспашкой под пар, они сокращают выбросы и могут поглощать углерод в течение периодов, когда не сеются основные с/х культуры. Покровные культуры обычно являются альтернативой на избыточной пахотной земле или на пахотных землях с крайне низкой производительностью.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

1. Основным преимуществом является то, что увеличивающиеся растительные остатки и корни могут улавливать углерод в периоды времени, когда почва все равно оставалась бы незасеянной и выделяла бы углерод своим дыханием.
2. Покровные культуры могут снизить дефицит питательных веществ и сократить потребность в искусственных удобрениях, фиксируя азот, в случае если это бобовые культуры. Это позволяет экономить ископаемое топливо, используемое при изготовлении удобрений, хотя большее количество азота в почве может привести к увеличению выбросов N₂O.
3. Покровные культуры снижают эрозию почвы и предупреждают дождевые стоки, обеспечивая просачивание воды и ее поглощение матрицей почвы.
4. Покровные культуры также способствуют сокращению использования пестицидов и гербицидов для выращивания связанных с ними товарных культур, подавляя рост сорняков и обеспечивая среду обитания, необходимую для членистоногих.

Недостатки

1. Среди недостатков необходимо упомянуть затраты, связанные с севом и выведением из цикла покровных культур.
2. Если выведение из цикла осуществлено не должным образом, то покровные культуры могут действовать как сорняки и конкурировать с последующими товарными культурами за свет, биогенные вещества и воду.
3. Остатки покровных культур могут потенциально мешать действию послевсходовых гербицидов, что приводит к выживанию сорняков.
4. В некоторых случаях, дополнительная потребность покровных культур в воде может сделать эту практику экономически и экологически менее жизнеспособной.

iv. Экономика и потенциал смягчения воздействий

Лу и др. (*Lu et al. (2000)*) (2000) представляют ряд примеров, демонстрирующих выгоду от использования покровных культур. В одном эксперименте, в не-сезон, выращивалась вика мохнатая под кукурузу, как основную культуру. Затраты на удобрения и семена вика мохнатой при системах беспашотной и нулевой обработки почвы для покровных культур составляли \$117,08 и \$16,62 га/год, в то время как стоимость удобрений для обычной беспашотной обработки составила \$174,97 га/год. Система покровной культуры дала средний урожай 7,86 Мт га при системе обычной беспашотной обработки. Средняя валовая маржа (прибыль) составила \$233,27 га/год при системе покровной культуры и \$233,27 га/год при обычной системе беспашотной обработки.

Покровные культуры могут также повысить поглощение углерода почвы. Лал (*Lal (1998; Таблица 13)*), указывает показатели поглощения углерода покровными культурами на эродированной Альфисоли в западной Нигерии от 0,28 до 2,60 мг/га/год.

v. Примеры/места применения покровных культур

Покровные культуры выращиваются во всем мире. Однако, это применение ограничено в связи со многими проблемами производителей и спецификой систем прибыльных сельскохозяйственных культур, что обсуждается в следующем разделе.

vi. Препятствия в распространении

Отсутствие знаний, неправильный выбор покровных культур и экономические затраты по высаживанию и запашке покровных культур – все это беспокоит производителей и приводит к замедлению в использовании этого метода. Если земля остается под паром на протяжении определенных периодов в течение года, то есть смысл рассмотреть возможность использования покровных культур. Однако, необходимо выбирать эти культуры, руководствуясь соображениями сезона, защитного потенциала этих культур, азотофиксирующей способности и экономической

целесообразности. Выбор культуры зависит от региона, системы земледелия и периода вегетации. Поэтому, необходимо провести местное исследование для получения информации, которая обеспечит надлежащее использование этого метода.

3.2 Управление биогенными веществами

3.2.1 Управление азотными удобрениями

i. Определение технологии

Эффективное использование азотных удобрений может сократить выбросы N_2O с полей. Кроме того, сокращая количество необходимых синтетических удобрений путем улучшения управления, можно также сократить выбросы CO_2 , возникающие в результате их изготовления. В этом разделе кратко обсуждается ряд технологий по управлению удобрениями с последующим обсуждением их относительных преимуществ и недостатков.

ii. Описание технологии

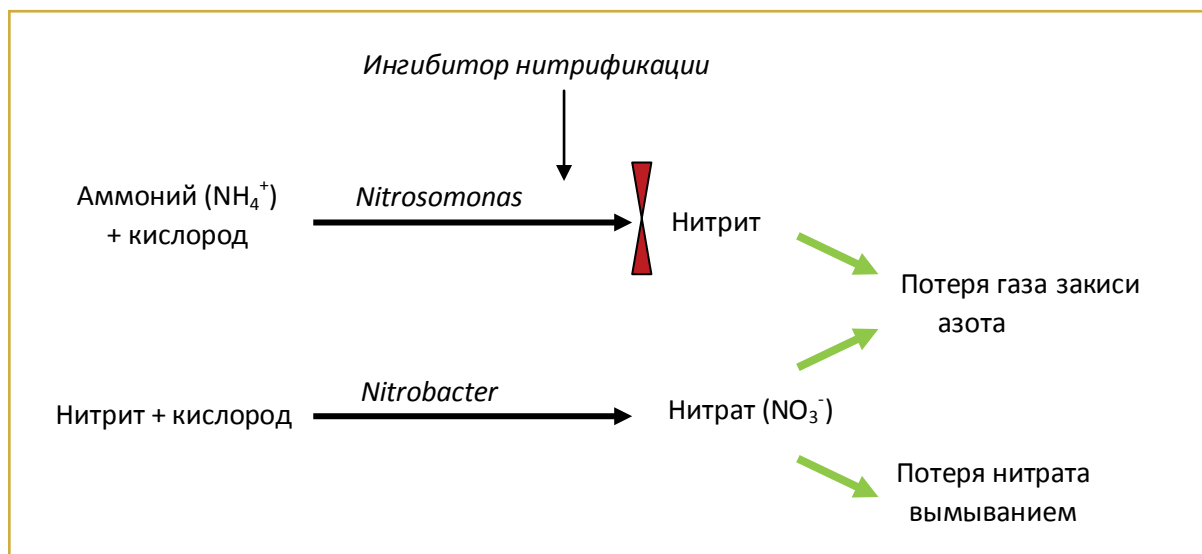
Уменьшение закиси азота в органическом сельском хозяйстве

Органическое сельское хозяйство сокращает выбросы N_2O вследствие запрета на использование минерального азота и сокращения содержания единиц домашнего скота на гектар. Диверсифицированный севооборот с зеленым удобрением в органическом сельском хозяйстве улучшает структуру почвы и уменьшает выбросы N_2O , хотя азот, выделяемый зеленым удобрением, все-таки, тоже выделяет N_2O . Почвы в органическом сельском хозяйстве более насыщены воздухом и имеют значительно более низкие концентрации подвижного азота, что сокращает выделение N_2O . Так как системы органических культур ограничены доступностью N, они балансируют выделение и поглощение N, и эффективно используют свой N. Таким образом, их выбросы ниже, чем выбросы обычных систем сельского хозяйства на единицу площади земли. Однако, при более низкой урожайности органического сельского хозяйства, выбросы на единицу продукта, возможно, такие же или выше. (Петерсен и др. (*Petersen et al.*, 2006)).

Смягчение последствий использованием ингибиторов нитрификации

Выбросы N_2O можно сократить использованием ингибиторов нитрификации, которые замедляют микробные процессы, приводящие к образованию N_2O (Рисунок 3.1; Робертсон, (*Robertson*, 2004)). Использование ингибиторов нитрификации, таких как: S. бензилизотиурионий бутонат ((*benzylisothiuronium butanoate*) (*SBT butanoate*)) и S. Бензилизотиурионий флюорат ((*benzylisothiuronium fluoroate*) (*SBT fluoroate*)) увеличивал урожайность хлебных злаков (Таблица 3.1), сократил выбросы N_2O на 4-5 %, и, поскольку N_2O более активный парниковый газ чем CO_2 , сократил потенциал глобального потепления на 8,9-19,5 % по сравнению с обработкой только мочевиной что способствовало смягчению последствий выбросов N_2O (Бхатия и др. (*Bhatia et al.*, 2010)).

Рисунок 3.1 Ингибиторы нитрификации (напр., DCD) снижают активность нитрифицирующих бактерий



Источник: Rys, неизвестен

Нитрификация и ингибиторы уреазы могут сократить потерю N как N_2O . Применение дициандиамида (DCD) и нитраприна на лугопастбищных угодьях сократило выбросы N_2O от удобрений на основе NH_4^+ на 64 % и 52 %, соответственно (МакТагарт и др).

Таблица 3.1 Обобщенная информация о связи между урожайностью кукурузы и ингибиторами нитрификации, добавленными к аммиачным удобрениям, внесенным в различные сезоны в нескольких регионах Соединенных Штатов

Регион	Сезон внесения	% исследований при возросшей урожайности	% роста урожайности ¹
Юго-восток (Джорджия, Мэриленд, Сев. Каролина, Юж. Каролина, Теннесси)	Осень	17	14
	Весна	43	15
Восточный кукурузный пояс (Иллинойс, Индиана, Огайо, Кентукки)	Осень	69	9
	Весна	51	3
	Весна (беспашотно)	82	13
Северный кукурузный пояс (Мичиган, Миннесота, Висконсин), без орошения	Осень	25	5
	Весна 17 12	17	12
Западный кукурузный пояс (Канзас, Миннесота, Новая Англия) с поливом, почвы с грубым механическим составом	Весна	52	30
Западный кукурузный пояс (Канзас, Новая Англия) средний полив и почва со средним и тонким механическим составом	Весна	10	5

¹ Средние увеличения были получены в ходе опытов при добавлении NI, что обеспечило значительные увеличения урожая

Источник: Нельсон и Губер (Nelson and Huber), 2001 (данные из отчетов и опубликованных материалов по прогрессу, достигнутому в ходе ряда исследований).

Применение медленнодействующих удобрений и манипуляционные технологии

Технология применения удобрений в значительной мере влияет на выделение закиси азота. Ниже описаны различные параметры этой технологии:

- а) Использование медленнодействующих удобрений обеспечивает затратоэффективное смягчение последствий. Медленнодействующие удобрения на основе мочевины и NH_4 могут быть получены использованием различных покрытий, химических модификаций, и изменением размера гранул удобрения (Рисунок 3.2). Например, увеличение размера гранул мочевины с обычного 0,01 г до 1 г уменьшило скорость нитрификации и, как оказалось, было более эффективным чем добавление *DCD* ингибитора нитрификации (Скиба и др. (*Skiba et al.*, 1997)).

Рисунок 3.2 Минимальное использование удобрения при большем размере гранул



Источник: Трэвис Либберт и Дэниел Самнер (*Travis Lybbert & Daniel Sumner (2010)*)

- б) Увеличение размера гранул до 1 г в сочетании с добавлением *DCD* привело к очень замедленной скорости нитрификации, а именно, 30 % первоначального внесенного N все еще присутствовало в почве спустя 8 недель после применения удобрения (Гус и Джонсон, (*Goose and Johnson*, 1993)).
- с) Потенциал глобального потепления (ПГП), вызванного N_2O , сократился с 231 кг выбросов CO_2 га⁻¹ при применении мочевины до 200 кг выбросов CO_2 на га⁻¹ при обработке мочевиной и *SBT* флуоратом при обычной обработке почвы, тогда как при нулевой обработке он снизился с 260 кг выбросов CO_2 на га⁻¹ при использовании одной только мочевины до 210 кг выбросов CO_2 на га⁻¹ с *SBT* флуоратом (Бхатиа и др. (*Bhatia et al.*, 2010)). Эти сокращения потенциала глобального потепления составляли 13,5 % и 19,5 % вследствие обработки *SBT* флуоратом по сравнению с одной только мочевиной при обычной и нулевой вспашке, соответственно.

Технология управления азотом

Методы управления азотными удобрениями в значительной мере влияют на выбросы закиси азота в сельском хозяйстве. Эти методы основаны на типе удобрения, выборе времени, размещении, и темпе применения удобрения, а также координировании времени применения с

выпадением дождевых осадков и ирригацией. Каждый метод прямого управления азотом влияет на выделение закиси азота.

Тип удобрения: Образование закиси азота может зависеть от формы применяемого удобрения. Вентерэа и др. (*Venterea et al* (2005)) отметили, что участки, обработанные безводным аммиаком, выделяют N_2O с темпами в 2-4 раза превышающие темпы участков, обработанных мочевиной, аммиачной селитрой или свободно разбросанной мочевиной. Тенута и Бокамп (*Tenuta and Beauchamp* (2003)) обнаружили, что относительная величина всех выбросов была больше от мочевины, чем от сульфата аммония, которая, в свою очередь, была больше, чем от известково-аммиачной селитры. Боуман и др. (*Bouwman et al* (2002a)) выяснили, что удобрения на нитроцеллюлозной основе давали намного меньше выбросов N_2O , чем удобрения на основе аммония. Шнайдер и др., (*Snyder et al.*, (2007)) показали, что медленное, контролируемое действующее и стабилизированное N удобрение может увеличить урожайность культур и снизить выбросы N_2O . Выбросы N_2O были значительно выше от почвы, обработанной мочевиной по сравнению с NH_4NO_3 (Мак Тэггарт и др., 1994). NH_4NO_3 благоприятно сказался на снижении испарительного переноса NH_4 и выделении N O. Другой состав, NH_4HCO_3 , при использовании в качестве основного удобрения, вызвал более низкое выделение N_2O , в отличие от мочевины.

Выбор времени внесения N удобрение: Синхронизированный выбор времени внесения N удобрения с потребностью растений в N является важным фактором в определении количества N_2O , выделяемого выращиваемыми культурами. Поглощение азота культурой, как правило, низкое в начале вегетационного периода. Оно быстро увеличивается в процессе вегетации и резко понижается по мере созревания культуры. До весеннего сева происходит увеличение почвенного N, в случае растений с низким поглощением N, что приводит к увеличению выделения N_2O . Приблизительно 30 % площадей, засеянных кукурузой в США, обрабатывается удобрениями осенью (*CAST* (Центр анализа стратегий и технологий), 2004). Таким образом, можно потенциально избежать больших выбросов N_2O , удобряя почву весной, а не осенью. Халтгрин и Ледук (*Hultgreen and Leduc* (2003)) показали, что выбросы N_2O были ниже после весеннего внесения N удобрения, нежели после осеннего.

Способ внесения N удобрений: Внесение N удобрения в почву около зоны активного поглощения корневой системой может сократить поверхностные потери N и увеличить его использование растением, что приводит к смягчению последствий выбросов N_2O (*CAST*, 2004). Лиу и др. (*Liu et al* (2006)) выяснили, что введение жидкой мочевины, нитрата аммония на более глубоком уровне (10-15 см) в профиль почвы приводит к смягчению последствий выбросов N_2O на 40-70 % по сравнению с введением удобрения на мелкой глубине (5 см) или при поверхностном применении. Халтгрин и Ледук (*Hultgreen and Leduc* (2003)) отметили, что выбросы N_2O сокращаются, если мочевина вносится между рядами (*mid-row*), по сравнению с ленточным внесением (*side-banded*).

Дозы внесения N удобрений: Выделение N_2O четко коррелируется с темпом внесения N удобрений (Друри и др. (*Drury et al.*, 2008)). Миллар и др. (*Millar et al* (2010)) также отмечают, что увеличение внесения в почву N приводит к увеличению выделения N_2O .

Потенциал глобального потепления в случае необработки N обычного пересаживаемого риса составлял 1 419 кг выбросов CO₂ на га⁻¹, тогда как ПГП в соответствии с традиционным применением биогенных веществ *NPK* составлял 6 730 кг выбросов CO₂ на га⁻¹ (Патак (*Pathak*, 2010)). Потеря урожая была незначительной.

Миллер и др. (*Miller et al* (2010)) предположили, что стимулирование смягчения последствий выбросов закиси азота применением более низких доз внесения азота с обеспечением определенной прибыли, в конечном счете, может возмещаться, в финансовом плане через рынок квот на эмиссию двуокиси углерода или рынок биогенных веществ. Это может обеспечить экономические и экологические преимущества, которые компенсируют потери в производительности, связанные с использованием более высоких доз азота.

Координация с мероприятиями по орошению с выпадением осадков: применение удобрения сразу же после дождя увеличивает эффективность использования N растениями и смягчает последствия выбросов N₂O. Потери N в связи с выщелачиванием, испарительным переносом, и денитрификацией на рисовом поле фермера (который использовал 67,5 кг N на га⁻¹ после дождя) уменьшилось до 40,5 кг N на га⁻¹ по сравнению с общим количеством потери, которая составила 80,3 кг N на га⁻¹ при использовании фермером метода попеременного затопления. Исключение состояло в среднесезонном осушении или альтернативном затоплении и циклах осушения, при этом оно увеличивалось (Патак (*Pathak*, 2010)). Режим управления N также сократил потенциал глобального потепления (ПГП) на 1 - 9 %.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

Улучшенное управление азотными удобрениями предполагает много экологических преимуществ, таких как:

- 1) Смягчение последствий выбросов N₂O, которые могут быть достигнуты относительно простыми корректировками в методах ведения сельского хозяйства, таких как использование удобрения в виде больших гранул, и применение его чаще и в меньших разовых количествах, что все равно обеспечит высокую производительность.
- 2) Увеличение эффективности использования N снизит вымывание N₂O грунтовыми водами.
- 3) Обеспечение большей N-эффективности уменьшит потребность с/х культур в неорганических N удобрениях и, таким образом, сократит выбросы от ископаемого топлива, связанные с его производством.

Недостатки

- 1) Использование химических ингибиторов выбросов N₂O может привести к тому, что будут образовываться нежелательные остатки, и они, могут быть не эффективными при определенных типах почвы.

- 2) Существующие цены на химические ингибиторы выбросов N_2O довольно высокие и, таким образом, они оказываются недоступными для многих фермеров, кроме того, они оказываются и коммерчески недоступными во многих регионах.

iv. Экономика и потенциал смягчения последствий

Как уже сказано в отдельных разделах выше, некоторые подходы по управлению N обладают высоким потенциалом в плане смягчения последствий выбросов парникового газа. Однако, затраты на ингибиторы нитрификации высоки, и снижение доз применения N может отрицательно сказаться на производительности. С другой стороны, относительно простые изменения, такие как увеличение размера гранул удобрений и изменение времени их внесения могут минимизировать выбросы при небольших или дополнительных затратах (либо вообще без таковых) или потери производительности.

v. Примеры/места применения в настоящее время

Азотные удобрения связаны со значительными производственными затратами для фермеров по всему миру, поэтому широко используются некоторые подходы, связанные с дробным внесением, или адаптацией к потребностям растений. С другой стороны, химические ингибиторы относительно дороги, поэтому они менее широко используются, но, тем не менее, получили определенное признание, как показывают положительные результаты, приведенные в ряде исследований по урожайности в Соединённых Штатах (Таблица 3.1).

vi. Препятствия в распространении

Помимо затрат есть и другие препятствия, такие как отсутствие знаний и образования. Необходимо провести исследование, чтобы определить наилучшие управленческие практики по конкретным с/х культурам и местным условиям.

3.2.2 Смягчение последствий выделения CO_2 микоризой

i. Определение технологии

Микориза помогает растениям извлекать питательные вещества из почвы. Поэтому, любые, получаемые в результате стимулирования роста, растения обеспечивают дополнительные растительные остатки, что, в свою очередь, может привести к увеличению сохранения углерода в почве (Лал и др. (*Lal et al.*, 1998b); Смит и др. (*Smith et al.*, 2008)). Однако, микориза может также способствовать поглощению углерода посредством вторичного механизма. Микоризы выделяют гломалин, являющийся гликопротеином, который служит в качестве склеивающего агента, облегчающего формирование почвенных агрегатов, улучшающих физические свойства почвы и поглощение ею углерода (Риллиг (*Rillig*, 2004); Субраманян и др. (*Subramanian et al.*, 2009)). Стабильность почвенных агрегатов в высшей степени коррелирована с длиной микоризной гифы в почве (Джастроу и др. (*Jastrow et al.*, 1998)).

ii. Описание технологии

Одним из главных факторов, связанных с улучшением секестрацией углерода почвой, является выделение гломалина в микоризных системах. Определенные микоризы, сформированные на основе: *Glomus intraradices*, *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum*, *Glomus margarita* и *Glomus pellucida*, согласно имеющейся информации, улучшали углерод почвы вследствие выделения гломалина. Гломалин является гликопротеином, который служит в качестве склеивающего агента, облегчающего формирование почвенных агрегатов и улучшающего физические свойства почвы (Риллиг (*Rillig*, 2004)). Выделение гломалина помогает сохранить углерод в почве и увеличить микробную биомассу. Субраманиян и др. (*Subramanian et al* (2009)) отметили, что гломалин состоит из 45%-ого углерода; как и большинство органических соединений, он, как они полагают, является основным соединением, служащим в качестве склада углерода при поглощении углерода почвы. Поскольку гломалин является резервуаром углерода, его исследование помогает объяснить количество поглощаемого С в кукурузно-микоризной системе. Грибы *Arbuscular mycorrhizal* (AM) выделяют гломалин, который сохраняет углерод, приблизительно на 30-40 %, в виде углеводов и белков. Он является суперклеем, который помогает сохранить углерод, питательные вещества, и нужные микроорганизмы, а также участвует в стабилизации почвенных агрегатов. Он также обеспечивает защиту от стрессов вызванных биотическими и абиотическими факторами, которые могут уменьшить рост культур и, таким образом, сократить поглощение углерода (Субраманиян и др. (*Subramanian et al* (2009))).

Микоризная инокуляция привела к колонизации корней независимо от градиентов плодородия и стадии роста культур (Субраманиян и др. (*Subramanian et al* (2009))). При отсутствии прививки отмечалась колонизация ниже 5 % вскоре после посева, однако процент колонизации значительно увеличивался с ростом растений. Содержание гломалина почвы существенно увеличивалось в микоризном сообществе, что предполагает, что микориза играет важную роль в сохранении углерода в долгоживущих сообществах, что предотвращает потерю углерода и выделение его в атмосферу, поддерживая плодородность почвы. Хотя уровни химических удобрений не повлияли на концентрацию гломалина почвы, комбинированное применение удобрения и рисовой соломы значительно увеличило концентрацию в ней гломалина, что привело к сохранению большего количества органического углерода в почве (Субраманиян и др. (*Subramanian et al* (2009))).

Микоризные растения, в принципе, фотосинтетически более активны и способны преобразовывать больше атмосферного CO₂ в ассимилянты в растениях (Субраманиян и др. (*Subramanian et al* (2009))). Микоризный симбиоз использует, по меньшей мере, 10 % фотосинтетического углерода растения-хозяина, что способствует микробной активности в ризосфере и повышению активного углеродного пула в почве. Биомасса поросли и корней кукурузы, инокулированных микоризой *Glomus intraradices* значительно увеличилась – приблизительно, на 29 % – по сравнению с непривитой культурой, при этом ее количество было высоким при низком уровне цинка в почве (Субраманиян и др. (*Subramanian et al* (2009))). Таким образом, древовидные микоризные грибы, которые формируют симбиотические отношения с более чем 90 % разновидностями наземных растений, оказываются полезными в сохранении углерода в живых почвенных пулах. Однако,

степень зависимости от микориз меняется в зависимости от видов растений, особенно корневой морфологии, а также почвы и климата (Маковеж (*Muchovej*, 2001)). С/х культуры с толстыми, слабо разветвленными корнями и с небольшим количеством ворсинок на корнях более зависимы от микоризы, включая лук, виноград, цитрусовые, маниоку, кофе и тропические бобовые культуры.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

- 1) Растения, привитые микоризой, дают больше биомассы, как прямое следствие улучшения фотосинтетической активности, они могут переносить 20-30 % ассимилированного углерода в ризосферу (под землей).
- 2) Концентрации гломалина в почве могут быть значительно улучшены микоризной инокуляцией, что приводит к более длительному поглощению углерода, а также к более устойчивым почвенным агрегатам с улучшенными физическими свойствами почвы.

Недостатки

- 1) Местная инокуляция микоризным грибом не очень эффективна и вызывает эффект ингибиции, когда неорганическое удобрение вносится в почву без какой-либо интеграции органических удобрений.
- 2) Культуры древесной микоризы для инокуляции сельскохозяйственных культур нуждаются в растении-хозяине и поэтому их трудно выращивать. Тем не менее, они уже становятся коммерчески доступными, по крайней мере, в Соединенных Штатах (Маковеж (*Muchovej*, 2001)).

iv. Экономика и потенциал смягчения последствий

Потенциал для использования очень высок, особенно в связи с устранением необходимости в фосфорных удобрениях в развивающихся странах, и поэтому потенциал смягчения последствий и сокращения выбросов ПГ также высок.

v. Примеры/места применения в настоящее время

Инокуляция эктомикоризой распространена в лесной промышленности, но потребность в более трудно выращиваемой древесной микоризе замедляет ее проникновение в сельское хозяйство. Тем не менее, практическое применение включает посадочный материал, который подвергается обработке для удаления болезнетворных микроорганизмов почвы, ре-вегетации эродированных почв или регионов, где проводились горные работы, а также засушливых и полусухих регионов (Маковеж (*Muchovej*, 2001)).

vi. Препятствия в распространении

Во многих частях мира фосфатные удобрения относительно недороги, и поэтому у фермеров нет большого стимула в том, чтобы инокулировать микоризу. Там, где фосфатные удобрения относительно дороги или недоступны, нехватка коммерческих прививочных материалов и трудность их выращивания собственными силами являются существенными препятствиями, хотя коммерческие источники становятся доступными.

3.3 Управление обработкой почвы/растительными остатками

Обработка почвы стимулирует микробное разложение органического вещества почвы, что приводит к выделению CO₂ в атмосферу. Поэтому, минимизация площади обрабатываемой земли способствует секвестрации углерода в почве. В последние десятилетия были разработаны новые методы управления сорняками и создано новое сельскохозяйственное оборудование, что позволяет выращивать многие с/х культуры с минимальной обработкой почвы (Смит и др., (*Smith et al.*, 2008)). Ниже приведены некоторые примеры.

3.3.1 Технология смягчения последствий выделения CO₂ противозерозийной вспашкой почвы

i. Определение технологии

Обычная обработка почвы является традиционным методом ведения сельского хозяйства, когда почва подготавливается к севу путем полного выворачивания ее тракторным плугом, за чем следует последующая дополнительная обработка, и почва обрабатывается бороной для проведения сева. Напротив, противозерозийная вспашка почвы – это система обработки почвы, которая сохраняет почву, водные и энергетические ресурсы путем сокращения интенсивности обработки и оставления остатков культур на поле. Противозерозийная обработка почвы подразумевает сев, выращивание и сбор урожая с/х культур с ограниченным нарушением поверхности почвы.

ii. Описание технологии

Противозерозийная обработка почвы включает любую обработку, при которой на полях оставляются остатки предыдущего урожая (например, стебли кукурузы или стерня пшеницы) до и после сева следующей культуры для снижения эрозии почвы и стоков, а также для других целей такие как связывание углерода (*MDA*, 2011). При использовании такой технологии, по меньшей мере, 30 % поверхности почвы остаются покрытыми растительными/органическими остатками при последующем севе (Диннес (*Dinnes*, 2004)). При этом, также не выворачивается почва. Этот тип обработки почвы характеризуется глубиной ее обработки и процентом нарушения поверхностной структуры почвы. Например, для посева культуры, как показано на Рисунке 3.3, плантатор научился сажать семена на глубину 50 мм и осторожно обработать почву

на слой глубиной 18 мм по ряду посаженной культуры для облегчения поглощения трефлана (*Treflan*), который распыляется перед машиной. Эта обработка осуществлялась при 20 км/час (www.specialtynotill.com.au/). Методы противозерозионной обработки почвы включают нулевую, полосную и гребневую обработку почвы, а также обработку почвы с образованием мульчирующего слоя. Нулевая обработка почвы является экстремальной формой защиты почвы от эрозии, в результате которой поверхностный слой почвы нарушается в минимальной степени.

Рисунок 3.3 С/х система нулевой обработки почвы



Источник: Wikicommons http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mais_Direktsaat008.jpg?uselang=en-gb

Нулевая обработка почвы подразумевает посев культуры непосредственно в растительные остатки, которые не подвергались обработке вообще (*MDA*, 2011). Технология нулевой обработки почвы используется в крупномасштабных сельскохозяйственных системах выращивания культур, потому что для посевных работ требуются большие машины (Рис. 3.4). Для небольших фермеров такие машины, соответственно, не доступны для посевных работ, хотя очень мелкие фермеры могут делать это вручную (Рис. 3.5). При нулевой обработке почвы, культуры сеются с минимальным нарушением почвы путем размещения семян на невспаханном поле без проведения какой-либо другой подготовки земли. Типичной машиной для нулевой обработки почвы является тяжелый агрегат, который может высаживать семена в продольных разрезах, 2-3 см шириной и 4-7 см глубиной, а также применять удобрение в ходе одной операции (*CIMMYT*, 2010). Агрегат представляет собой перевернутый Т-образный бороздильник для того, чтобы делать разрезы (Рис. 3.4). Семена и удобрение помещены в соответствующие коробки и высаживаются в разрезы автоматически. Глубина разрезов может регулироваться гидравлическим механизмом трактора.

Рисунок 3.4 Фотография, демонстрирующая нулевую обработку почвы посевным агрегатом



Источник: Трэвис Либберт и Дэниел Самнер (Travis Lybbert & Daniel Sumner (2010))

Рисунок 3.5 Нулевая обработка при севе кукурузы после сбора риса



Источник: NAIP (ICAR), Ежегодный отчет 2009, CRIDA, Хайдерабад, Индия

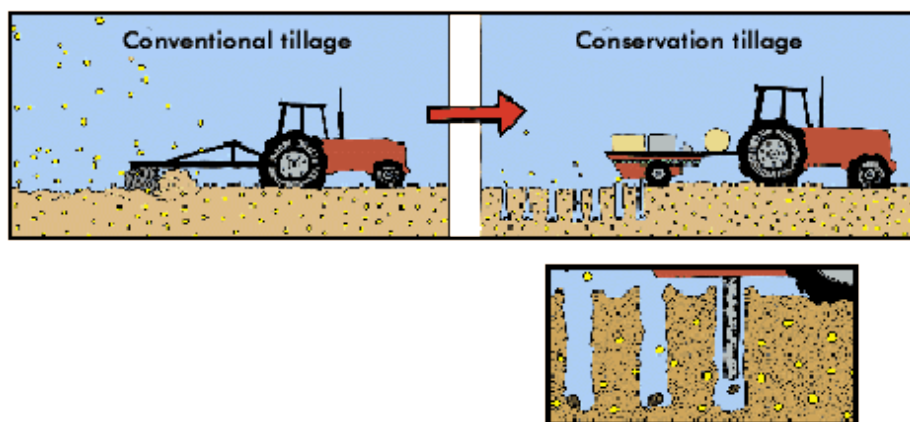
Характеристики нулевой обработки почвы:

- Остатки собранного урожая равномерно распределяются и оставляются на поверхности почвы
- Не используются никакие агрегаты (а), для переворачивания почвы, (b), для выращивания с/х культуры, или (с), для запахивания остатков урожая в почву
- Контроль над сорняками и покровными культурами осуществляется посредством использования соответствующих гербицидов (*desiccant herbicides*)

- Используется специализированная сажальная машина для срезания остатков урожая на почве и помещения семян и удобрения в почву с минимальным ее нарушением. В принципе, сев семян осуществляется тогда, когда влагосодержание почвы достаточно для прорастания семени, но не настолько высоко, чтобы большой трактор и сажальная машина могли уплотнить почву
- Контроль за сорняками также выполняется за счет использования гербицидов до и после всходов
- Севооборот является фундаментальным для нулевой обработки почвы, потому что он помогает минимизировать сорняки, насекомых, и болезни, которые возрастают, если одна и та же культура выращивается год за годом на том же поле
- Большинство экспериментов с нулевой обработкой почвы продемонстрировали увеличение урожайности, но в более влажных регионах потребовалось много лет, прежде чем урожайность стабилизировалась или увеличилась. Однако, в более сухих регионах, где влажность является главным ограничивающим фактором, результаты, в плане урожайности, отмечались уже на первом году (Кимбл и др. (*Kimble et al.*, 2007))
- Нулевая обработка почвы приводит к стратификации органического почвенного углерода с относительно более высокой концентрацией на поверхности и ниже – в подпочве по сравнению с использованием методов на основе вспашки плугом для предпосевной подготовки почвы. Соотношение в содержании органического почвенного углерода при нулевой подготовке почвы и подготовке с использованием плуга остается 2,5 для глубины 0-5 см, 1,5 при глубине 5-10 см и 1,1 для глубины 10-15 см (Лал и др., (*Lal et al.*, 1998b)).

Полосная обработка почвы подразумевает ее обработку только в виде узких полос, а остальная часть поля остается необработанной (полосная обработка почвы) (*MDA*, 2011).

Рисунок 3.6 Система гребневой обработки почвы



Источник: *Why Files* (2011)

Гребневая обработка почвы подразумевает высадку семян в ложбинках между тщательно сформированными гребнями почвы (Рисунок 3.6). Остатки предыдущего урожая очищаются

с гребней в прилегающие борозды, расчищая место для семян новой культуры, которые высаживаются в гребни. Сохранение гребней важно и требует использования модифицированного или специализированного оборудования (MDA, 2011).

Рисунок 3.7 Обработка почвы с образованием мульчирующего слоя



Источник: NRCS (Неизвестен)

Обработка почвы с образованием мульчирующего слоя (Рисунок 3.7) является еще одной системой ограниченной обработки земли, при которой остатки сохраняются частично путем использования рыхлительных лап, волокуш, полевых культиваторов, или других подобных сельскохозяйственных агрегатов, которые оставляют, по крайней мере, одну треть поверхности почвы покрытой остатками предыдущего урожая (MDA, 2011).

Каждый метод противоэрозионной обработки почвы требует своего собственного типа специализированного или модифицированного оборудования и адаптации в управлении.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

- 1) Увеличивает способность почвы сохранять или поглощать углерод, одновременно обогащая почву.
- 2) Улучшает проникновение воды в почву, сокращая, таким образом, эрозию и сток воды и нитратов.
- 3) Улучшает стабилизацию поверхности почвы от ветровой эрозии и выделения пыли и других переносимых воздухом макрочастиц.

- 4) Сокращает ощелачивание биогенных веществ благодаря большим количествам органической почвенной материи, что обеспечивает связывающие участки.
- 5) Уменьшает испарение и увеличивает удержание влаги почвой, что может увеличить урожай в засушливый год (Саддик и др. (Suddick et al., 2010)).
- 6) Сокращает количество проходов агрегатов по полю, таким образом сокращая затраты на ископаемое топливо и связанные с этим выбросы углерода в атмосферу.
- 7) Сокращает потерю пестицидов и других применяемых химикатов. Это связано с более высокой скоростью впитывания при большем количестве остатков, сохраняемых на поверхности, и меньшем количестве стоков, а также с максимальной влагоёмкостью вследствие более высокого содержания органического вещества в почве, что приводит к меньшему выщелачиванию.

Недостатки

- 1) Использование ограниченной обработки земли при влажных, прохладных почвах, прежде всего, сказывается на распределении *SOC* в профиле, если не будет увеличено поступление углерода (Лал и др. (Lal et al., 1998b)).
- 2) В случае очень мелких производителей требуется специализированное дорогое оборудование или много ручного труда.
- 3) Требуется, больше гербицидов и пестицидов, чем при использовании обычных стандартных методов управления сорняками и прочими вредителями.
- 4) Вследствие большого размера первоначальных углеродных пулов почвы, вклад противоэрозионной обработки почвы может показаться незначительным, и необходимо существенное количество времени, чтобы увидеть изменения.
- 5) При противоэрозионной обработке почвы могут выделяться значительные количества не- CO_2 парниковых газов (N_2O и CH_4) по сравнению с количеством сохраненного углерода, таким образом, преимущество противоэрозионной обработки почвы в сохранении углерода может быть перевешено недостатками в связи с другими выбросами ПГ.

iv. Экономика и потенциал смягчения последствий

- 1) При ограниченной обработке земли требуется меньше рабочего времени и затрат вследствие меньшего количества проходов агрегатов и операций, требуемых для предпосевной подготовки почвы. Экономия составляет от \$2,47/га до \$19,13/га (Кимбл и др. (Kimble et al., 2007)).
- 2) Было проведено большое количество исследований по оценке потенциальной экономии на снижении затрат на топливо в результате сокращения обработки почвы. Оценки колеблются между \$3,58/га и \$28,29/га (Кимбл и др. (Kimble et al., 2007)).

- 3) В целом, при ограниченной обработке земли не требуется много ремонтировать с/х машины и оборудование, и, следовательно, затраты на их обслуживание также меньше (Кимбл и др. (*Kimble et al.*, 2007)).
- 4) Технология нулевой обработки почвы сокращает затраты на полевую подготовку до \$70 (Rs. 3200) на гектар (Верма и Сингх (*Verma and Singh*, 2009)), и это также экономит время и рабочую силу (на 10-20 %). Экономия потребления топлива составляет 26,5-43,7 литров на гектар (Верма и Сингх (*Verma and Singh*, 2009)), что приводит к сокращению затрат на топливо и смягчению последствий выбросов углерода в атмосферу.
- 5) Нулевая обработка почвы может сэкономить фермерам, приблизительно, 1 млн литров воды на гектар (100 мм) по сравнению с обычными методами вследствие того, что мульча на поверхности почвы сокращает суммарное испарение (Рехман, (*Rehman*, 2007)).
- 6) Нулевая обработка почвы увеличивает содержание углерода в почве от 0,1 до 0,7 метрических тонн га/год (Посшен и др. (*Paustion et al.*, 1995)) в субтропических условиях.

v. Примеры/места применения в настоящее время

Согласно Брауну (*Brown* (2008)), нулевая обработка почвы широко используется в пяти странах, в частности: 15 млн га в Соединенных Штатах, 24 млн га в Бразилии, 18 млн га в Аргентине, и 13 млн га в Канаде. В Австралии нулевая обработка почвы составляет 9 млн га. Таким образом, в этих пяти странах нулевая обработка почвы занимает, в общей сложности, 79 млн. га. Это страны с наибольшими площадями земли в нулевой обработке. Во всем мире, растет использование нулевой обработки почвы. В 1999 г. она использовалась на 45 млн га, а к 2005 г. – более чем удвоилась и достигла 95 млн га. Используя последние показатели, можно сказать, что доля всех остальных стран составляет только 17 % от общего количества.

Что касается консервирующей обработки почвы в целом в развивающихся странах, самым успешным образом она осуществляется в Бразилии и Аргентине (Аброл и др. (*Abrol et al.*, 2005)). В этих странах 45-60 % всей пахотной земли используется на основе ресурсосберегающей сельскохозяйственной системы. В сезон 2001-2002 годов, методы ресурсосберегающего сельского хозяйства использовались на более чем 9 млн га в Аргентине и 13 млн га в Бразилии. В Африке, в 1998 г., была создана Африканская сеть по сохранению пахотной земли (АСТ) с целью продвижения методов ресурсосберегающего сельского хозяйства для снижения уровня бедности, более эффективного использования природных и человеческих ресурсов, и снижения ухудшения качества окружающей среды (Аброл и др. (*Abrol et al.* 2005)).

vi. Препятствия в распространении

Самым большим препятствием является вес и стоимость специализированных сажальных машин, которые должны врезаться в почву, покрытую остатками предыдущего урожая. Использование этих сажальных машин ограничено, главным образом, более богатыми странами с относительно большими полями. Для мелких фермеров в бедных странах препятствием является большое количество ручного труда.

3.3.2 Биоуголь – потенциальный метод секвестрации углерода

i. Определение технологии

Остатки урожая могут коксоваться путем частичного сжигания до получения очень устойчивого углеродного состава, известного как «биоуголь» или черный углерод, полученный из биомассы. Главным качеством биоугля является его богатая углеродом мелкозернистая, очень пористая структура и увеличенная площадь поверхности, что делает его идеальной добавкой для секвестрации углерода в почве (Лехманн, (*Lehmann*, 2007); Информационный бюллетень, *CRIDA*, 2010)).

ii. Описание технологии

Биоуголь может использоваться для улучшения сельского хозяйства и окружающей среды несколькими способами, а его стабильность в почве и превосходные свойства сохранять питательные вещества делают его идеальной добавкой для увеличения урожайности.

Внесения биоугля в почву обеспечивает секвестрацию углерода и смягчение последствий выбросов не- CO_2 парниковых газов. Это также обеспечивает среду обитания для микроорганизмов, которые могут увеличивать микробное разнообразие почвы. Биоуголь также действует как почвенный аэратор, который улучшает рост растений, сохраняет питательные вещества, и улучшает свойства почвы (Лехман и Рондон (*Lehman and Rondon*, 2005); Лехман и др. (*Lehman et al.*, 2006); Глэйсер и др. (*Glaser et al.*, 2002)).

Разработана недорогая коксовальная печь для производства биоугля из хлопка, кукурузы, и стеблей клещевины обыкновенной для небольшого исследования по производству биоугля при различных нагрузках и с частичным сгоранием (Лехман и др. (*Lehman et al.*, 2006)). Когда биомасса обрабатывается при умеренных температурах, между, приблизительно, 400 и 500°C (низкотемпературный пиролиз) при полном или частичном исключении кислорода, биомасса подвергается экзотермическим процессам и выделяет газы, высокую температуру и биоуголь. Газы могут поглощаться и сжигаться для получения энергии для пиролиза (Кжерник и Бриджуотер, (*Czernik and Bridgwater*, 2004)). В результате такого пиролиза производится биоуголь, богатое углеродом мелкозернистое, пористое вещество и твердый побочный продукт, внешне похожий на древесный уголь, который, при возвращении его в почву, обеспечивает ряд экологических преимуществ, таких как улучшение секвестрации углерода почвы и повышение урожайности почвы (Лехманн, (*Lehmann*, 2007)). Это является новым подходом в секвестрации углерода в земных экосистемах, что дает ряд экологические преимущества, а в процессе изготовления биоугля производится ряд полезных продуктов.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

- 1) Значительное количество углерода может секвестрироваться в очень устойчивой форме.

- 2) Добавление биоугля в почву повышает коэффициент использования питательных веществ, водоудерживающую способность и микробную деятельность.
- 3) В процессе производства биоугля выделяется высокая температура, и газы могут улавливаться для производства энергоносителей, таких как электричество, водород, или бионефть. Кроме того, в качестве побочных продуктов при производстве биоугля можно также получать такие ценные продукты, как ароматы дерева и клеящие вещества (Кжерник и Бриджуотер, (*Czernik and Bridgwater, 2004*)).

Недостатки

- 1) Применение биоугля иногда нарушает физические и химические балансы биогенных веществ в ризосфере.
- 2) Биоуголь, в целом, способствует росту нежелательных сорняков.
- 3) Производство биоугля относительно дорого.

iv. Экономика и потенциал смягчения последствий

Система выращивания риса и пшеницы в долинах Инда и Ганга в Индии производит существенные количества растительных остатков, и если эти остатки можно подвергнуть пиролизу, 50 % углерода в биомассе вернется в почву в качестве биоугля. Это увеличит плодородие почвы и урожайность, а также секвестрацию углерода. Кроме того, пиролиз растительных материалов с внесением биоугля в почву может, фактически, привести к смягчению последствий выбросов углерода в атмосферу на 20 %, обеспечивая процесс секвестрации углерода (Лехманн (*Lehmann, 2007*)). По прогнозам, ежегодно может производиться, приблизительно, 309 млн тонн биоугля, применение которого могло бы компенсировать, приблизительно, 50 % выбросов углерода (292 тераграмм C/год) от ископаемого топлива (Lal, 2005).

Galinato и др. (*Galinato et al. (2011)*), исследовали вопрос потенциальной экономической отдачи для фермеров, если они будут использовать биоуголь вместо известкового удобрения согласно трем ценовым сценариям: (1) \$350,74/MT, (2) \$114,05/MT, и (3) \$87/ MT (Таблица 3.2).

v. Примеры/места применения в настоящее время

В настоящее время, улучшение почвы биоуглем носит случайный, главным образом экспериментальный, характер, и широко не используется.

vi. Препятствия в распространении

Поскольку это относительно новый подход, необходимо провести значительные исследования, чтобы убедиться, что это хорошо работает при различных комбинациях почвы, климата, и

систем земледелия. Фермеры и производители энергии должны быть проинформированы о секвестрации С биоугля и ее положительном воздействии на характеристики почвы. Необходимо структурно разработать недорогие пиролизеры и расширить их производство, чтобы они были доступны для фермеров. Может не оказаться подходящих площадей для устойчивых и надежных поставок биомассы. Необходимо приложить усилия, чтобы применение биоугля стало устойчивой процедурой секвестрации С, обеспечивающей более высокие нереализованные выбросы углерода.

Таблица 3.2 Сравнение доходов от производства озимой пшеницы (\$ на гектар), с/ без применения биоугля

Сценарий	Доход	CO ₂ величина коррекции ^b	Совокупные расходы	Стоимость известкового удобрения ^c	Стоимость биоугля	Прибыль ^d
Без применения биоугля или известкового удобрения	\$1,099	–	\$1,038	–	–	\$61
С применением известкового удобрения	\$1,741	–	\$1,038	\$334	–	\$369
С применением биоугля, когда компенсация цен составляет \$31/MT CO ₂ , а цена биоугля (PB)						
PB1=\$350.74/MT	\$1,741	\$226	\$1,038	–	\$26,842	-\$25,913
PB2=\$114.05/MT	\$1,741	\$226	\$1,038	–	\$8,728	-\$7799
PB3=\$87/MT	\$1,741	\$226	\$1,038	–	\$6,658	-\$5729
С применением биоугля, когда компенсация цен составляет \$31/MT CO ₂ , а цена биоугля (PB)						
PB1=\$350.74/MT	\$1,741	\$6,995	\$1,038	–	\$26,842	-\$19,144
PB2=\$114.05/MT	\$1,741	\$6,995	\$1,038	–	\$8,728	-\$1030
PB3=\$87/MT	\$1,741	\$6,995	\$1,038	–	\$6,658	\$1,040

Пояснения:

Цифры, показывающие доход, величину коррекции CO₂, и прибыль округлены до ближайшего целого числа.

^a Предполагаемый щелочной показатель почвы pH – 4,5. Применения биоугля или известкового удобрения направлено на повышение предполагаемого pH почвы до 6.

^b Показатель коррекции CO₂ = 225,66 MT от CO₂, компенсируемого на га предотвращенных известью и биоуглем выбросов С, помноженный на цену компенсируемого CO₂ (\$1 или \$31/MT CO₂).

^c Исключает затраты на применение извести и биоугля на с/х землях (затраты на оборудование и рабочую силу).

^d Прибыль = Доход √ CO₂ компенсируемая стоимость – Общие затраты – Стоимость известкового удобрения – Стоимость биоугля. Все указано в US\$ на гектар. Источник: Галинато и др. (Galinato et. al.), 2011

3.4 Ирригация

i. Определение технологии

Выбросы CO₂ можно сократить эффективной ирригацией путем увеличения урожайности и сохранения остатков урожая, что может повысить секвестрацию углерода. (Смит и др. (*Smith et al.*, 2008)).

ii. Описание технологии

Ирригация достаточно распространена, и поэтому не требует обширного описания. Достаточно сказать, что все типы ирригации, включая орошение затоплением, дождеванием, поверхностное и подповерхностное капельное орошение, могут улучшать урожайность с последующим увеличением количества растительных остатков от урожая и улучшением секвестрации углерода. Восемнадцать процентов возделываемых земель, в настоящее время, орошаются. Если орошаться будут дополнительные площади, то может происходить дополнительная секвестрация углерода. В этой области существует три основных технологии:

- Дождевание и капельное орошение
- Сбор туманообразных осадков
- Сбор дождевых осадков.

Эти три технологии освещаются в Разделе 4.2, как части *TNA* Руководств (http://tech-action.org/Guidebooks/TNA_Guidebook_AdaptationAgriculture.pdf).

3.5 Управление системами производства риса

Культивирование риса приводит к 10 % выбросов ПГ от сельского хозяйства (Рисунок 2.2). В развивающихся странах, доля рисовых полей в выбросах ПГ от сельского хозяйства еще выше, например, она составляла 16 % в 1994 (РКООНИК). Здесь представлен ряд технологий, направленных на смягчение последствий выбросов при выращивании риса.

3.5.1 Технология смягчения последствий изменения климата посредством управления удобрениями, навозом и использованием соломы

i. Определение технологии

Управление химическими и органическими удобрениями на рисовых полях является важным вопросом для технологии смягчению последствий выделения метана. Управление возможностями смягчения последствий использования удобрений включает изменения в: типах удобрений; соотношениях питательных веществ в удобрениях; дозах и выборе времени их внесения; и использовании ингибиторов нитрификации для смягчения последствий выделения метана, воздействием на метаногенез на рисовых полях.

ii. Описание технологии

Ингибиторы нитрификации, как известно, препятствуют окислению метана (Бронсон и Мосир). Линдау и др. (*Lindau et al.* (1993)) отмечали, что некоторые ингибиторы нитрификации могут также смягчить и последствия выделения метана рисовыми полями. Поэтому, эти технологии являются двухцелевыми, т.е. направленными на смягчение последствий выделения, как N_2O так и CH_4 . При изучении на микроучастках вопросов сева сухими семенами, затопляемой культивации риса, применения ингибиторов нитрификации, нитропирина и использования покрытого воском карбида кальция было, в частности, отмечено значительно запаздывающее выделение метана (Киртисинге и др. (*Keerthisinghe et al.*, 1993)). Уменьшение выделения метана на участках, обработанных покрытым воском карбидом кальция, объяснялось медленным выделением ацетилена, известным ингибитором метаногенеза (Бронсон и Мосир, (*Bronson and Mosier*, 1991)).

Использование ингибиторов нитрификации, таких как нимин, или использование супергранул мочевины на затопляемых рисовых полях можно рассматривать как подходящие альтернативы для уменьшения выделения метана рисовыми полями без отрицательных последствий для урожаев культуры на участках, где достаточная глубина паводковой воды (30 см), но не 5 см (Таблица 3.3, Таблица 3.4). Эти меры не только улучшают эффективность использования N при выращивании риса в низменных местах, но и сокращают выделения метана глубоко затопляемыми рисовыми полями.

Условия глубокого затопления (30 см)

В принципе, глубина затопления в условиях низин в Индии, Бангладеш, и Китае близка к 30 см. В условиях низменности с дождевыми осадками, где глубина паводковой воды оставалась 30 ± 10 см, вносились гранулированная мочевина и ингибитор нитрификации нимин (*Neem triterpenes*) 1:100 (ингибитор нитрификации: мочевина (весовое соотношение)) при равномерном внесении 60 кг N/га (Пат и др., (*Rath et al.*, 1999)). Гранулированная мочевина или смесь гранулированной мочевины и нимина вносились вразброс на предварительно затопленных полях как раз перед пересадкой, как это практикуется большинством фермеров при богарном земледелии при выращивании риса в низинах. Гранулы мочевины (около 1г/гранула) вносились вручную между рядами рисовых растений на глубине не менее 5 см в ограниченных зонах непосредственно перед пересадкой.

Условия неглубокого затопления (5 см)

При затоплении рисовых полей на глубину 4-6 см, гранулированная мочевина; зеленое удобрение (*Sesbania rostrata*) и гранулированная мочевина в комбинации с зеленым органическим удобрением вносились по 60 кг N га⁻¹ (Пат и др. (*Rath et al.*, 1999)). Гранулированная мочевина вносилась (разбросно) непосредственно перед пересадкой. Зеленое удобрение (*Sesbania rostrata*) выращивалось на соседнем участке, резалось на части по 5-10 см и вносилось в почву. При обработке внесением только зеленого удобрения, норма составляла 60 кг N/га (сухой вес). При обработке внесением гранулированной мочевины + зеленое удобрение, необходимое количество зеленого удобрения должно было обеспечить 30 кг N/га, и оно вносилось в почву

за семь дней до пересадки, а гранулированная мочеви́на, по 30 кг N/га, вносилась в день пересадки, чтобы обеспечить, в общей сложности, 60 кг N/га. Самые низкие выбросы метана отмечались на участках, обработанных смесью гранулированной мочеви́ной и нимином, ингибитор нитрификации, предотвращает автотрофное окисление NH_4^+ до N_2O . Линдау и др. (Lindau *et al.*, (1993)) отмечали, что эти ингибиторы нитрификации могут значительно смягчать последствия выделения метана рисовыми полями. При исследовании микро участков, где рис выращивался с использованием сухих семян методом затопления, применение ингибиторов нитрификации, в особенности нитрапирина и покрытого воском карбида кальция, выделения метана значительно замедлялось. Уменьшение выделения метана на участках, обработанных покрытым воском карбидом кальция, объяснялось медленным выделением ацетилена, известного ингибитора метаногенеза. Линдау и др. (Lindau *et al.*, (1993) также отмечали, что ингибиторы нитрификации, такие как инкапсулированный карбид кальция и дициандиамид $\text{SO int}_4 \text{ sup}^{2-}$, содержащий вещества $[(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ и $\text{Na}_2\text{SO}_4]$ оказывали эффекты смягчения на выделение CH_4 при выращивании риса методом затопления.

Таблица 3.3 Выделение метана при глубоком затоплении (30 см) рисовых полей в низменностях, засаженных св. Gayatri, результаты управления удобрениями

Обработка	Выделение метана* (мг м ⁻² час ⁻¹)				
	Дни после пересадки (ДПП)				
	30	50	70	85	100
Контроль	8,3 ^a	21,0 ^a	39,9 ^a	90,7 ^a	70,6 ^a
Гранулированная мочеви́на	5,7 ^a	13,1 ^a	26,8 ^a	67,2 ^{ab}	62,8 ^a
Гранулированная мочеви́на + нимин	5,2 ^a	17,7 ^a	27,1 ^a	48,0 ^c	50,0 ^b
Мочевина, супер гранулы	6,1 ^a	13,2 ^a	30,7 ^a	58,4 ^c	52,6 ^b

* Срединное значение четырех повторных наблюдений. В колонке, срединное значения с последующей прописной буквой не значительно различаются при уровне 5% по DMRT

Источник: Рат и др. (Rath *et al.*), 1999

Таблица 3.4 Производство растительной биомассы и совокупного выделения метана при неглубоком затоплении (5 см) и глубоком затоплении дождевыми осадками (30 см) рисовых полей, засаженных *cv. Gayatri*

Обработка	Производство растительной биомассы (т га ⁻¹)		Совокупный выброс метана (г м ⁻²)
	Урожай соломы	Урожай зерна	
Глубоко (30 см) затопленные полевые участки			
Контроль	8,38	5,04	347,5
Гранулированная мочевины	8,48	5,52	307,5
Гранулированная мочевины + нимин	10,07	5,48	255,0
Мочевина, супер гранулы	10,97	6,22	295,0
Мелко (5см) затопленные полевые участки			
Контроль	5,87	4.10	38,8
Гранулированная мочевины	7,37	4,90	73,8
Гранулированная мочевины + нимин	8,51	5,60	70,0
Мочевина, супер гранулы	8,19	5,80	116,3

Источник: Пат и др. (Rath et al.), 1999

Эффективность обработки для сдерживания образования CH_4 в порядке от наиболее до наименее эффективного: азид натрия> дициандиамид (*DCD*)> пиридин> аминопурин> тиосульфат аммония> тиомочевина. Сдерживание образования CH_4 в обработанных *DCD* почвах было связано с высоким окислительно-восстановительным потенциалом, низким рН фактором, низким Fe^{2+} , низким содержанием минерального углерода, и низкой популяцией метанопродуцирующих бактерий.

Несколько соединений бензольного кольца (Патель и др. (Patel et al., 1991)) и N-содержащих соединений (Боллэг и Цзлонковский, (Bollag and Czlankowski, 1973)), также известны, как подавляющие метаногенез в чистых культурах и в почвах. Химикаты, сдерживающие образование и окисление CH_4 включает: DDT (2, 2-дихлордифенилтрихлорэтан) (МакБрайд и Вулф (McBride and Wolfe, 1971)) и ингибитор нитрификации, ацетилен (Спротт и др. (Sprott et al., 1982)). Доступность этих конкретных и общих ингибиторов микроорганизмов является многообещающей при их использовании с химическими удобрениями или другими агрохимикатами для смягчения последствий выбросов CH_4 почвами, засеянными рисом.

Это открывает возможности для разработки соответствующих схем управления для регулирования выделения метана затопляемыми рисовыми полями.

Минеральные N-удобрения сокращают выделение NH_4 в различной степени. В отличие от этого, включение органических источников, например, зеленого навоза и рисовой соломы в почву может стимулировать выделение метана (Дениер ва дер Гон и Нё (*Denier van der Gon and Neue*, 1995)). Однако, по сравнению со сжиганием соломы, включение рисовой соломы до посева пшеницы в Харьяне (Индия), или овощных культур на Филиппинах и в Китае привело к значительному смягчению последствий выделения метана (Вассманн и Патак (*Wassmann and Pathak*, 2007)). В среднем, выделение метана сократилось, приблизительно, на 0.4 т выбросов C на га⁻¹ по сравнению со сжиганием соломы. Однако, стоимость полевых работ и неблагоприятного воздействия на нагорные с/х культуры делает эту альтернативу дорогостоящей. Два других варианта управления соломой: секвестрация соломы в форме строительного материала и скормливание сырой соломы животным. Эти варианты используются в Китае, где большое производство риса приводит к образованию значительного количества рисовой соломы. Цены в Китае составляют \$5,98 и \$6,86 за т выбросов C, что составляет лишь половину цены на Филиппинах и в Харьяне (Индия). Однако, во всех этих трех случаях, варианты использования соломы обладают относительно высоким потенциалом смягчения последствий, что, вместе взятое, дает 1,34, 1,87 и 1,36 т выбросов C на га⁻¹ на Филиппинах, в Индии, и Китае, соответственно. Другим вариантом является компостирование соломы перед применением, что может сократить выбросы CH_4 при постоянном затоплении на 58% по сравнению с использованием новой соломы при постоянном затоплении без существенного положительного эффекта на урожайность (Вассманн и др. (*Wassmann et al.*, 2000)).

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

- 1) Азотные удобрения необходимы для риса, чтобы обеспечить его потенциальную урожайность. Обработка почвы N удобрением может обеспечить N, увеличивая, в то же время, секвестрацию C.
- 2) Ингибиторы нитрификации могут эффективно улучшить эффективность использования удобрения, обеспечивая немедленные и значительные смягчения последствий выделения метана в течение длительного периода времени.

Недостатки

- 1) Для обеспечения максимального эффекта, необходимы конкретные химические удобрения, при этом необходимы органические удобрения, которые должны вноситься во время, или непосредственно перед сезоном пересадки.
- 2) Ингибиторы нитрификации дорогостоящи, они могут оставлять в почве ненужные остатки, могут быть эффективны только на определенных почвах, и могут терять испарительный эффект.

iv. Экономика и потенциал смягчения последствий

Патак и др. (*Pathak et al.* (2011)) представили годовые затраты, доходы и урожайность в пшеничном эквиваленте на рекомендуемые *N*, *P* и *K* (*NPK*), а также рекомендовали *N*, *P* и *K* в сочетании с органическими удобрениями (*NPK+FYM*) на основе различных долгосрочных экспериментов, выполненных в различных штатах Индии с использованием различных систем земледелия (Таблица 3.5). Их вычисления показывают, например, что севооборот рис-пшеница в Харьяне является намного более производительным и прибыльным, чем другие севообороты, которые одновременно увеличивают секвестрацию С. Добавление компоста повысило производительность в двух третях случаев, но уменьшило ее, приблизительно, в одной трети случаев; таким образом, необходимо вносить местные корректировки для использования системы севооборота.

Таблица 3.5 Годовые затраты, доходы и урожаи в пшеничном эквиваленте при обработке *NPK* и *NPK+FYM* в ходе различных долговременных экспериментов

Годы ^а	Система земледелия ^б	Штат	Обработка <i>NPK</i>				Обработка <i>NPK+FYM</i>			
			WEY ^с (Mg/ra)	Затраты (US\$)	Доход (US\$)	Прибыль/ затраты	WEY ^с (Mg/ra)	Затраты (US\$)	Доход (US\$)	Прибыль/ затраты
8	A	Мегхалая	4.6	660	1062	1.6	7.1	694	1634	2.4
28	B	Западная Бенгалия	9.2	915	2106	2.3	7.8	951	1783	1.9
20	A	Западная Бенгалия	4.1	789	940	1.2	5.0	815	1157	1.4
13	C	Западная Бенгалия	6.6	932	1504	1.6	8.1	957	1864	1.9
20	D	Западная Бенгалия	3.4	660	783	1.2	3.9	694	889	1.3
12	A	Уттар-Прадеш	7.6	679	1738	2.6	7.6	696	1740	2.5
14	A	Уттар-Прадеш	7.1	679	1628	2.4	6.2	704	1434	2.0
8	A	Бихар	6.0	679	1385	2.0	7.0	736	1600	2.2
14	A	Уттар-Прадеш	7.4	679	1706	2.5	7.2	704	1662	2.4
14	A	Уттар-аханд	8.1	679	1851	2.7	7.6	702	1736	2.5
15	A	Пенджаб	6.5	545	1496	2.8	7.6	562	1749	3.1
10	A	Харьяна	7.4	475	1711	3.6	8.2	511	1892	3.7
10	E	Орисса	6.9	581	1592	2.7	7.5	598	1723	2.9

^а Длительность эксперимента.

^б Рис-Пшеница, B Рис-Пшеница-Джут, C Рис-Горчица-Сезам, D Рис-Клевер египетский, E Рис-Рис.

^с Пшеничный эквивалент урожая.

Источник: Патак и др. (*Pathak et al.* (2011))

Сетянто и др. (*Setyanto et al.*, (1997)) отметили, что выделение метана минеральными удобрениями, такими как таблетированная мочевины, капсулированная мочевины, $(\text{NH}_4) \text{SO}_2$ зависело от метода применения, то есть, методы, подразумевающие внесение удобрения в почву обеспечивали более низкое выделение метана. Использование сульфата аммония в качестве N-удобрения для замены мочевины, также давало уменьшение на 5-25 % в выбросах CH_4 .

Согласно Вассманну и Патаку (*Wassmann and Pathak* (2007)), экономия на относительных затратах по смягчению последствий посредством ингибиторов нитрификации составляла \$6,4, \$5,5 и \$9,8 на тонну выбросов CO_2 в провинции Ллокос Норте (*Ilocos Norte*, Филиппины), провинции Чжэцзян (Китай), и штате Харьяна (Индия), соответственно. В Ллокос Норте и Чжэцзяне потенциал восстановления был равен, приблизительно, 0,7 т выбросов $\text{CO}_2/\text{га}$, тогда как этот же вариант дал лишь незначительную экономию на выбросах (0.13 т выбросов $\text{CO}_2/\text{га}$) в Харьяне.

Если будут обеспечены стимулы в плане кредитов С на смягчение эффектов потенциала глобального потепления и субсидий для сокращения потерь N, то фермеры будут использовать такие технологии, как противоэрозионная обработка почвы, почвенный анализ для использования N, и более точное размещение удобрений в большом масштабе в Южной Азии (Ладха и др. (*Ladha et al.*, 2009)).

v. Примеры/места применения в настоящее время

Некоторые из штатов Индии практикуют эту технологию, как указано в Таблице 3.5. На данном этапе, ингибиторы нитрификации, главным образом, используются экспериментальным, а не широко распространенным образом в производстве риса.

vi. Препятствия в распространении

Необходимо обучать фермеров по вопросам применения надлежащих типов и количеств химических и органических удобрений, что привязано к конкретной местности и системе земледелия. Фермеры должны лучше понимать вопросы экономической эффективности ингибиторов нитрификации по сравнению с другими вариантами смягчения в различных возможных условиях; их также необходимо научить ими пользоваться, при необходимости.

3.5.2 Управление водными ресурсами: технология межсезонного дренажа

i. Определение технологии

Межсезонный дренаж подразумевает удаление поверхностной воды с затопленных рисовых полей в течение, приблизительно, семи дней до конца побегообразования. Продолжительность периода осушения должна быть достаточно длительной для того, чтобы рисовые побеги испытали явный водный стресс.

ii. Описание технологии

Среднесезонный дренаж способствует проветриванию почвы, устраняя анаэробные условия и, таким образом, прерывая образование CH_4 . Среднесезонный дренаж рисового поля подразумевает удерживание поливной воды в течение периода, пока рис не проявит симптомы стресса. Этот метод подразумевает использование гребневой и бороздной технологии обработки почвы, когда почва все еще несколько влажная даже после того, как вода стечет с борозды, оставленной бороздильником. Важно проверять, когда культура использовала большую часть воды на поле. Степень трескания почвы будет зависеть от типа почвы и пространственного распределения растений риса. Совокупное испарение воды колеблется между 77-100 мм во время дренажа, в зависимости от жизнеспособности с/х культуры и типа почвы. Затем поле повторно затопляется, как можно быстрее. Необходимо покрыть поверхность почвы водой так, чтобы растения начали восстанавливаться. Глубина воды может постепенно увеличиваться до нужного уровня для защиты развивающегося растительного покрова от высоких температур во время периода цветения.

Среднесезонный дренаж сокращает выделение метана затопляемыми полями, сокращая выбросы в пределах 7 - 95 % (Таблица 3.6).

Таблица 3.6 Смягчение последствий выбросов метана использованием различных методов управления водой по сравнению с постоянным затоплением (с использованием органических удобрений). WS = влажный сезон, DS = сухой сезон

Методы смягчения	Сезонные выбросы (кг га ⁻¹)	Относительное снижение (%)	Эксперимент
Среднесезонное осушение	385	23**	Бейцзин 1995
	312	44 ns	Ханчжоу 1995
	51	43**	Малигайя 1997 DS
	25	7 ns	Малигайя 1997 WS
Попеременное затопление/осушение	216	61**	Ханчжоу 1995
	207	59**	Бейцзин 1995
Среднесезонное осушение без органических веществ	26	95**	Бейцзин 1995
	239	57**	Ханчжоу 1995

** Статистически значимый

ns Статистически незначимый

Источник: модифицировано по Вассману и др. (Wassman et al., (2000))

Однако, рис также является существенным антропогенным источником N_2O . Среднесезонный дренаж или сокращение использования воды, создает условия ненасыщения почвы, что может способствовать образованию N_2O . Среднесезонный дренаж является эффективной

возможностью снижения чистого потенциала глобального потепления, хотя 15-20 % полученного эффекта смягчения последствий выделения метана нивелируется увеличением выбросов N_2O . Незначительное выделение N_2O наблюдалось при постоянном затоплении (Зу и др. (Zou *et al.*, 2005)). Однако, среднесезонный дренаж привел к интенсивному выделению N_2O , что значительно способствовало увеличению его сезонного количества. С другой стороны, после среднесезонного дренажа не наблюдалось распознаваемого N_2O в условиях частого периодического затопления. Напротив, наблюдалось значительное выделение N_2O , когда поле было влажным, но не подвергалось периодическому затоплению. Таким образом, выделение N_2O в периоды периодического затопления, в значительной степени, зависело от присутствия воды на затопляемых полях. Различные водные режимы вызывают изменения в выделении N_2O полями, орошаемыми затоплением (Зу и др. (Zou *et al.*, 2005)).

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

- 1) Смягчение последствий выделения метана, связанное со среднесезонным дренажом рисовых полей, колеблется в области, приблизительно, 7 - 95 % (Таблица 3.6), при этом влияние на урожай риса не значительно.
- 2) Дренаж стимулирует развитие корневой системы и ускоряет разложение органических материалов в почве, вырабатывая больше минерализованного азота для поглощения растениями.
- 3) Среднесезонный дренаж экономит воду, которую можно использовать в других целях.
- 4) Среднесезонный дренаж устраняет неэффективные побеги и улучшает деятельность корневой системы.

Недостатки

- 1) Дренаж имеет нежелательный эффект увеличения выделения закиси азота. Однако, среднесезонный дренаж может помочь в уменьшении N_2O , если поле периодически затоплять водой с достаточной частотой.
- 2) Периодическое высыхание, или дренаж почвы, невозможно осуществлять на террасных рисовых полях, потому что высыхание может вызвать трескание почвы, что приведет к потерям воды, или, в крайних случаях, полному разрушению террасной конструкции.
- 3) Полевой дренаж также приводит к росту сорняков и, таким образом, сокращает урожайность риса.
- 4) Среднесезонный дренаж задерживает развитие культуры. Цветение, в целом, запаздывает на 3-4 дня, а уборка/созревание может быть отсрочена на 7-10 дней.
- 5) Среднесезонный дренаж может увеличить высоту растений, и это может привести к их полеганию, особенно при хорошем урожае.

iv. Экономика и потенциал смягчения последствий

Согласно Вассманну и Патаку (*Wassmann and Pathak* (2007)), среднесезонный дренаж является прибыльной технологией по снижению вреда благодаря низким трудовым затратам и рискам низкой урожайности. Стоимость технологии составляла, приблизительно, \$20 на т сэкономленных выбросов CO₂. Нельсон и др. (*Nelson et al.*, (2009) отметили, что при одном среднесезонном осушении, чистый доход снизился менее чем на 5 %, в то время как выбросы ПГ снизились почти на 75 млн метрических тонн CO₂ (приблизительно на 4 000 тонн выбросов CO₂ на га⁻¹).

Технологии противозерозионной обработки почвы, среднесезонного дренажа и попеременного затопления сократили выбросы ПГ без дополнительных расходов. Более высокий чистый доход при этих технологиях предлагает огромную потенциальную сферу их применения фермерами.

Управление водными ресурсами часто рассматривается как хорошая стратегия по смягчению последствий выделения метана рисовыми полями. Технологии по экономии воды могут сократить выделение метана при выращивании риса. Сэкономленная вода может использоваться для орошения культур в последующие с/х сезоны. Рис выращивается на более чем 140 млн га во всем мире. Девяносто процентов рисовых полей временно затопляются, что дает возможность для лучшего управления водными ресурсами и сокращения потребления воды, а также энергии, потребления электричества и потребления удобрений. Эти сокращения могут привести к уменьшению выбросов метана и впоследствии использоваться для получения углеродных кредитов.

v. Примеры/места применения в настоящее время

Среднесезонное осушение (общая практика орошения, используемая в основных регионах выращивания риса в Китае и Японии) и периодическое затопление (распространенное в северо-западной Индии) значительно сокращает выделение метана. Осушение полей в середине фазы кушения сокращает выделение метана на 15-80 % по сравнению с постоянным затоплением, не оказывая значительного влияния на урожай риса.

vi. Препятствия в распространении

Фермеры боятся потенциальных отрицательных воздействий на урожай в связи с наблюдаемым очевидным водным стрессом и задержкой времени сбора урожая. Их необходимо информировать о преимуществах, которые перевешивают возможные потери. Значительная часть этих преимуществ заключается в смягчении последствий выделения ПГ, которые не являются очевидными для фермеров, т.к. не ведут к увеличению финансовой прибыли.

3.5.3 Управление водными ресурсами: технология попеременного увлажнения и осушения (AWD)

i. Определение технологии

Международный научно-исследовательский институт риса (МНИИР) на Филиппинах разработал новую технологию по смягчению последствий выбросов метана, известную как попеременное увлажнение и осушение (AWD) (МНИИР, 2009). AWD – водосберегающая технология, обеспечивающая смягчение последствий выбросов метана, используемая фермерами, выращивающими рис на низменных землях с использованием орошения (*paddy*) для снижения водопотребления на орошаемых полях. Рисовые поля, на которых используется эта технология, попеременно затопляются и осушаются. Количество дней осушения почвы при AWD может меняться в зависимости от типа почвы и вида культуры от 1 дня до более чем 10 дней.

Рисунок 3.8 Технология попеременного увлажнения и осушения (AWD) для смягчения последствий выделения метана. Уровень грунтовых вод понижается до состояния стресса (глубина – 15 см) с последующим затоплением



Источник: МНИИР, 2009.

ii. Описание технологии

AWD также называют контролируемым орошением или периодическим затоплением. Количество дней незатопления почвы может меняться от 1 до более чем 10 дней. Практический способ реализации AWD технологии – это контроль уровня грунтовых вод в поле с использованием простой перфорированной полевой трубки для измерения уровня воды («свирель»). Когда уровень воды опустится на 15 см ниже поверхности почвы, это значит, что пора затопить почву на глубину, приблизительно, 5 см во время цветения – 1 неделя до и 1 неделя после максимального цветения. Вода в рисовом поле должна оставаться на глубине 5 см во избежание водного стресса, что может привести к серьезной потере урожая риса. Порог уровня воды в 15 см называют «безопасным AWD», поскольку он не вызывает снижения урожайности, потому

что корни рисовых растений сохраняют возможность поглощать воду из влажной почвы, «притягивая» ее к корневой зоне. Полевая трубка для замера уровня воды, используемая в этой технологии, поможет измерить уровень воды в поле с тем, чтобы можно было заранее определить начинающийся дефицит воды в растениях риса на ранней стадии (Рис. 3.8). Таким образом, эта технология поочередного увлажнения и осушения не только сэкономит воду, но и поможет в значительной мере сократить выделение метана. Технологии экономии воды, такие как поочередное увлажнение и осушение, сокращают время затопления рисовых полей и могут сократить образование метана, приблизительно, на 60 % (Таблица 3.6) или даже на 90 % (МНИИР, 2009).

Начиная, приблизительно, с 15 дня после пересадки, фермеры, использующие *AWD*, прекращают орошение до тех пор, пока уровень грунтовых вод не будет на 15 см ниже уровня земли. В рисовом поле вырывается отверстие на 20 см, и в него вводится перфорированная пластмассовая трубка с тем, чтобы контролировать уровень горизонта грунтовых вод после каждого полива. Эта практика продолжается до начала поры цветения. После начала цветения, необходимо сохранять уровень 2-4 см постоянной воды до начала фазы тестообразной спелости.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

- 1) Значительное смягчение последствий выделения метана по сравнению с постоянным затоплением (Таблица 3.6).
- 2) Это помогает экономить воду при культивировании риса.
- 3) Фаза осушения ризосферы способствует росту корней и их способности переносить воду в растения риса даже при условиях низкой влажности почвы.
- 4) Фермеры могут судить о статусе водного режима на своих рисовых полях и балансировать орошение с обеспечением минимального выделения метана.
- 5) Экономия воды на орошении положительно влияет на окружающую среду благодаря сокращению использования грунтовых вод и потребления солянки для водных насосов.
- 6) Защита уровней грунтовых вод может также сократить загрязнение мышьяком рисовых зерен и соломы.

Недостатки

- 1) Иногда, при использовании технологии *AWD*, происходит снижение урожайности риса, если возникает ситуация водного стресса. В то же время, отмечавшееся сокращение урожайности было ниже ее сокращения в ситуации реального водного стресса.
- 2) Увеличивается выделение N_2O .

iv. Экономика и потенциал смягчения последствий

AWD технология может значительно сократить объемы орошения по сравнению с обычной практикой фермеров и, таким образом, снизить потребление воды для полива на 25 % и потребление дизельного топлива, необходимого для накачки воды на 30 литров на гектар, а также повысить на 500 кг/га урожайность риса.

Затраты на *AWD* технологии равняются \$20 за тонну сэкономленных выбросов CO₂ в Харьяне, Индия, тогда как в Ллокос Норте, Филиппины и Чжэцзяне, Китай, эти затраты превысили \$45 за тонну сэкономленных выбросов CO₂ (Вассман и Патак (*Wassmann and Pathak*, 2007)).

Ощутимый успех *AWD* технологии развеял представление о потерях урожая в условиях водного стресса на незатопляемых рисовых полях. Использование *AWD* технологии сократило водопотребление и выделение метана, а также повысило урожайность риса. Эта технология может сократить выделение метана на 50 % по сравнению с выращиванием риса методом постоянного затопления.

v. Примеры/места применения в настоящее время

Эта технология очень распространена в таких странах, как Китай, Индия и Филиппины (МНИИР, 2002).

vi. Препятствия в распространении

Этот метод требует, чтобы системы орошения включали возможность точного контроля выбора времени полива и глубины воды на орошаемых полях. Поэтому, необходимо обучать фермеров их использованию. Преимущества, получаемые в виде уменьшения ПГ, не дают фермерам финансовой прибыли.

3.5.4 Технология использования калийных удобрений

i. Определение технологии

Удобрение почвы хлористым калием (*МОР*) может значительно сократить выделение метана затопляемыми почвами, на которых выращивается рис.

ii. Описание технологии

Применение калия на рисовых почвах предупреждает понижение окислительно-восстановительного потенциала и сокращают содержание активных восстанавливающих веществ и содержание Fe²⁺. Обработка калием также сдерживает метанобразующие бактерии и стимулируют метанотрофные бактериальные популяции. Помимо производства большего количества рисовой биомассы (как над, так и под землей), и урожая зерна, внесение калия может эффективно сократить выбросы CH₄ затопленными почвами, и это может стать эффективным

методом смягчения последствий, особенно в случаях почв, страдающих от дефицита калия (Бабу и др. (Babu et al., 2006)) (Таблица 3.7).

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

- 1) Химические удобрения смягчают эффект выделения метана более быстро по сравнению с медленными процессами при обработке органическими удобрениями.
- 2) Химические удобрения также отвечают потребностям в питательных веществах с/х культур, таким образом, поддерживая их урожайность и снижая выделения метана.
- 3) Химические удобрения иногда улучшают здоровье почвы, если их использовать осторожно и поддерживать баланс питательных веществ.

Недостатки

- 1) Калийные удобрения необходимо использовать точно в соответствии с требованиями, чтобы избежать отрицательного воздействия на плодородие почвы.
- 2) Химические удобрения, если их применять сверх нормы, изменяют питательный состав почвы, и воздействуют на ее физическую структуру. Это неблагоприятно сказывается, как на окислении метана, так и на метаногенезисе.

Таблица 3.7 Эффект применения К удобрения на выделение метана рисовым полем

Уровень К	Биомасса (г м ⁻²)		Кумулятивный CH ₄ (кг га ⁻¹)	Кг CH ₄ Мг ⁻¹ урожай зерна
	Над землей	Под землей		
Контроль (K ₀)	1419.21a	189.6 4a	125.34	25.32
K ₃₀	1562.90ab	252.23bc	63.81	11.00
K ₆₀	1557.65ab	236.32b	82.03	14.34
K ₁₂₀	1671.0b	287.03c	64.43	10.70

Примечание: Уровни К были 0, 30, 60, и 120. В колонке средние значения, за которыми следует прописная буква, не являются значимо различными ($P < 0.05$) по многошкальному тесту Дункана (Duncan's multiple range test). * Урожай зерна является средним значением четырех повторных наблюдений. Источник: Бабу и др. (Babu et al. (2006))

iv. Экономика и потенциал смягчения последствий

В почвах, бедных калием, применения калийных удобрений значительно увеличивает урожайность, при этом, увеличение урожайности превышает затраты на обработку удобрениями. Поэтому, смягчение последствий выделения метана является дополнительным преимуществом, затраты на обеспечение которого равны, практически нулю. Кроме того, К удобрения могут сократить выделение метана наполовину (Таблица 3.7).

v. Примеры/места применения в настоящее время

Стало общепринятой практикой дополнительно обрабатывать калийными удобрениями почву на обданных калием рисовых полях, по крайней мере, это делается в более развитых странах. В менее развитых странах, это не столь распространено вследствие недостаточного понимания способа его использования, а также стоимости и доступности сырья для производства удобрений.

vi. Препятствия в распространении

Как упоминалось выше, затраты на использование удобрения могут быть проблемой, так же как и необходимость предоставления информации об их соответствующем и точном использовании.

3.5.5 Сельскохозяйственная биотехнология как возможность смягчения последствий изменения климата

i. Определение технологии

Биотехнологический подход к технологии смягчения последствий выделения метана подразумевает идентификацию культурных сортов риса, которые выделяют меньше метана. Он также подразумевает выведение растений, которые переносят меньше продуктов фотосинтеза к корням, и больше – к репродуктивным частям.

ii. Описание технологии

Чтобы идентифицировать культурные сорта риса, выделяющие меньше метана, Ванг и др. (*Wang et al.*, (2000)) продемонстрировали, что сорта риса с небольшими корневыми системами, высокой окислительной активностью корней, высокими показателями урожайности, и продуктивными побегами имеют больше шансов выделять меньше метана, чем другие сорта. Они идентифицировали культурный сорт *Zhongzhou* (*modern japonica*), как выделяющий наименьшее количество метана по сравнению с *Jingyou* (*japonica hybrid*) и *Zhonghua* (*tall japonica*). Парашар и Бхаттачарья (*Parashar and Bhattacharya* (2002)) идентифицировали сорт риса Аннада (обычно используемый в Андхра-Прадеш, основном рисовыращивающем регионе Индии), как высокоурожайный и выделяющий мало метана. Хотя были идентифицированы культурные сорта риса, выделяющие мало метана, оказалось, что их показатели выделения метана были менее значительными, чем показатели, достигнутые при управлении водными режимами или обработке органическими удобрениями. Кроме того, урожайность риса, выделяющие мало метана, требует оценки. Если культурные сорта риса с низкими показателями выделения метана дают меньший урожай, то, значит, надо выращивать больше риса, чтобы удовлетворить спрос, и общие показатели выделения метана могут вырасти.

Выделение метана может быть сокращено путем селекции культурных сортов риса, например таких, как *Luit*, которые обеспечивают значительное количество продуктов фотосинтеза для роста метелки и развития зерна (высокий показатель урожайности). Такие сорта, как *Disang* необходимо избегать, т.к. они используют свои продукты фотосинтеза для развития вегетативных

частей, таких как корни, листовое влагалище, стебель и т.д. (низкий показатель урожайности), которые позже способствуют выделению метана (Дас и Баруах (*Das and Baruah*, 2008)).

Выделения метана может также быть сокращено путем селекции культурных сортов риса, таких как *Prafulla* и *Gitesh*, которые медленнее переносят метан вследствие меньших площадей поперечного сечения их медуллярных полостей. Дас и Баруах (*Das and Baruah*, 2008)) отметили положительную корреляцию между потоком метана и размером медуллярной полости. Они заметили, что рисовые сорта *Basumuthi* и *Bogajoha*, с большими размерами медуллярных полостей, имели большие площади поперечного сечения с более высокими путями диффузии метана. Uprety и др. (*Uprety et al.*, (2011)) отметили, что концентрация метана в медуллярных полостях риса, приблизительно, в 2 900 раз выше, чем в атмосферном воздухе.

Были определены важные анатомические параметры растения, такие как количество листьев, количество побегов и его биомасса, регулирующие выделение метана. Модификация этих анатомических характеристик, а также возможные изменения в физиологических процессах, могут помочь рисоводам создать новые генетические линии риса, выделяющие мало метана, и разработать комплексные технологии в зависимости от местных условий, которые обеспечат синергизм характеристик культуры и выделение ею метана.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

- 1) Фермеры имеют великолепную возможность, используя метод селекции, вывести культурные сорта риса с низким выделением метана и высокой урожайностью, не изменяя методов ведения с/х деятельности.

Недостатки

- 1) Рисоводы обычно не измеряют выделение метана, таким образом, для этого требуются дополнительные усилия, хотя, если некоторые анатомические характеристики достаточно хорошо коррелируются с выделением метана, то необходимость в дополнительных усилиях может быть минимальной.
- 2) Степень, в которой может быть понижено выделение метана использованием этого подхода может оказаться незначительной.
- 3) Сорта, выделяющие меньше метана, могут быть менее продуктивными.
- 4) Для выведения новых сортов необходимо продолжительное время.

iv. Экономика и потенциал смягчения последствий

Если будет возможно вывести сорта, которые будут выделять значительно меньше метана без ущерба их урожайности, то этот подход может применяться и обеспечивать значительное смягчение последствий выделения метана.

v. Примеры/места применения в настоящее время

Данный подход только начинает применяться, и он еще не вышел за рамки предварительных экспериментов.

vi. Препятствия в распространении

Препятствием для биотехнологического подхода является положительная корреляция между выделением метана и урожайностью. Тем не менее, это препятствие может быть преодолено путем селекции и выведением сортов без такой тесной корреляции.

3.5.6 Смягчение последствий выделения метана использованием технологии ограниченной обработки земли

i. Определение технологии

Подобно противозерозионной обработке почвы, которая обсуждалась в Разделе 3.3.1 для с/х культур, выращиваемых на возвышенностях, технология ограниченной обработки земли для орошаемых рисовых полей, подразумевающая сев или пересадку культуры непосредственно в почву с минимальной предшествующей обработкой и остатками предыдущего урожая.

ii. Описание технологии

Выделение метана на стадии обработки почвы рисового поля и подготовки его к севу составляет более 80% годового показателя его выделения (Управление по охране окружающей среды США, 2008). Обработка увлажненной почвы, по сравнению с результатами нулевой обработки сухой почвы, приводит к раннему началу метаногенеза и, поэтому, способствует более значительному выделению метана в течение сельскохозяйственного сезона. Нулевая обработка почвы приводит к самым низким уровням выделения метана и является практикой, основанной на использовании остатков предыдущего урожая вместо компоста или мульчи. Зачастую, это делается путем ручной пересадки, но уже существуют и становятся популярными в развитых странах (например, Япония, Южная Корея) рассадопосадочные машины, которые могут пересаживать молодую рассаду в затопленную почву (см., http://en.wikipedia.org/wiki/Rice_transplanter). Также используется метод разбросного сева семян в паводковую воду, приблизительно, через неделю после обработки гербицидами (Хуанг и др. (Huang *et al.*, 2012).

iii. Преимущества и недостатки

- 1) Требуется меньше трудовых затрат.
- 2) Фермерам не требуется большого количества времени для подготовки почвы к севу.
- 3) Поскольку требуется меньше времени для подготовки почвы, вода может рационально использоваться, либо же может быть удлинен период роста культуры, что позволит использовать позднеспелые сорта с более высоким потенциалом урожайности.

- 4) Смягчение последствий выделения метана путем ограниченной обработки земли обеспечивает защиту почвы и улучшает ее состояние.

Недостатки

- 1) Культивирование риса методом ограниченной обработки земли делает его уязвимым по отношению к вредителям, таким как стеблевой точильщик, который выживают на уцелевших остатках или стерне.
- 2) Использование нового оборудования для ограниченной обработки земли и обучение фермеров является долгосрочной задачей и требует значительных расходов.
- 3) Методы минимальной обработки почвы требуют увеличения использования гербицидов и, поэтому, являются менее приемлемыми.
- 4) Более низкий уровень прорастания при ограниченной обработке земли требует большего расхода семян и более высоких затрат на них.

iv. Экономика и потенциал смягчения последствий

Обработка земли дает 80% от общегодового потенциала выделения метана и, таким образом, ограниченная обработка земли улучшает ситуацию. Однако, высокая стоимость механизированных рассадопосадочных машин ограничивает ее применение, хотя использование гербицидов и разбросный посев пророщенных семян обеспечивает больший доход фермерам.

v. Примеры/места применения в настоящее время

Нулевая обработка почвы на орошаемых рисовых полях не является широко используемой практикой.

vi. Препятствия в распространении

Как уже обсуждалось ранее в разделе о с/х культурах, выращиваемых на возвышенностях, нулевая обработка почвы с использованием более дорогостоящего оборудования, распространена только в более богатых странах, где фермеры могут позволить себе такое оборудование, как механические рассадопосадочные машины. Однако, использование гербицидов позволяет разбросно сеять предварительно проросшие семена. В то же время, недостаточное знание и понимание ограниченной обработки земли является главным препятствием для мелких, бедных фермеров.

3.5.7 Технология прямого посева

i. Определение технологии

Предварительно проросшие семена или рассаду высаживают непосредственно в почву, или, методом разбросного посева – на затопленную почву полей, где используется эта технология.

ii. Описание технологии

Прямой посев проросшего риса приводит к смягчению последствий выделения метана вследствие более короткого периода затопления и уменьшения разрушения структуры почвы по сравнению с пересадкой рисовой рассады. Ко и Канг (*Ko and Kang* (2000)) продемонстрировали, что в Южной Корее, где общая практика культивирования заключается в пересадке 30-дневной рассады, это значительно сокращает выделение метана и может осуществляться методом прямого посева во влажную (8%) или в сухую почву (33%); при этом не наблюдается существенной разницы в урожайности. Подобным же образом, Метра-Кортон и др. (*Metra-Corton et al.*, (2000)) показали, что прямой посев приводит к смягчению последствий выделения метана на 16-54 % по сравнению с пересадкой рисовой рассады. В шести различных случаях, Вассман и др. (*Wassman et al.* (2000)) сообщали о смягчении последствий выделения метана методом прямого посева на 16-92 % по сравнению с пересадкой, при выращивании шести культурных сортов риса, однако, при этом также наблюдалось снижение урожайности на 4-36%. Впоследствии, Хуанг и др. (*Huang et al.* (2012)) не выявили никакого существенного влияния на урожайность в течение шести сельскохозяйственных сезонов при беспашотной обработке + гербициды + разбросный посев предварительно проросших семян на затопляемых полях, который сравнивался с обычной вспашкой + последующее затопление + пересадка; однако, в конце пятого года, произошло увеличение органического углерода в верхних 5 см почвы, что, приблизительно, соответствовало снижению углерода на более глубоких уровнях.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

- 1) Прямой посев быстрее и менее трудоемкий, чем пересадка.
- 2) Он сокращает время на подготовку земли.

Недостатки

- 1) В некоторых случаях сократилась урожайность (например, Хоссэйн и др. (*Hossain et al.*, 2002); Вассман и др. (*Wassman et al.*, 2000))
- 2) Более значительное полегание массы рисовых растений (Де Датта, (*De Datta*, 1986))

iv. Экономика и потенциал смягчения последствий

Согласно Вассманну и Патаку (*Wassmann and Pathak* (2007)), затраты на смягчение последствий выделения CO₂ посредством прямого посева составляли \$35 на тонну сэкономленных выбросов.

Вииракон и др. (*Weerakoon et al.* (2011)) провели обследование шриланкийских ферм и представили затраты на культивирование риса прямым посевом во влажную почву в трех сценариях: сухая орошаемая зона, среднесухая орошаемая зона и влажная зона, питаемая дождевыми осадками (Таблица 3.8). Они выяснили, что в условиях орошения прямой посев был

доходным, тогда как в условиях дождевых осадков, валовой доход составлял, приблизительно, половину дохода, получаемого при орошении, а в условиях прямого посева система земледелия была нерентабельной.

Таблица 3.8 Экономика выращивания риса посевом во влажную почву в Шри-Ланке

Регион	Общая производственная себестоимость (\$/га)	Валовой доход (\$/га)	Прибыль (\$/га)
Орошаемые сухие почвы	523	865	342
Орошаемые среднесухие почвы	551	731	181
Влажные неорошаемые почвы	538	426	-112

Источник: Вниракун и др. (Weerakoon et al. (2011)).

v. Примеры/места применения в настоящее время

Пересадка является самым распространенным методом для выращивания риса на орошаемых землях, тогда как прямой посев распространен в Австралии и Соединенных Штатах (МНИИР, http://www.knowledgebank.irri.org/ericeproduction/II.3_Direct_seeding.htm)

vi. Препятствия в распространении

В Азии есть традиция использовать рассаду, и поэтому там есть определенное сопротивление в отношении перехода на прямой посев. Однако, прежде чем менять привычки, необходимо последовательно демонстрировать, что прямой посев не будет значительно уменьшать урожайность.

3.5.8 Технология обработки химическими удобрениями

i. Определение технологии

Выбросы ПГ зависят от количеств и типов применяемых удобрений, поэтому необходим разумный выбор удобрений, их типов и доз внесения, что может сократить выбросы.

ii. Описание технологии

Источник, способ, и дозировка применения минеральных удобрений влияют на выделение CH_4 и его выделение затопляемыми рисовыми полями. Использование химического удобрения сократило выделение CH_4 рисовыми полями на 18 % (Минами (Minami, 1995)).

Увеличение производства риса в южной Азии объясняется увеличением использования азота (EPA, 1991). Увеличение использования азота может также быть дополнительно полезным для смягчения последствий выделения метана. Внесение мочевины в почву, как оказалось,

сокращает выделение метана (EPA, 1991). Однако, поверхностное применение мочевины привело к 20 % увеличению выбросов по сравнению с неудобренной почвой. Использование удобрения на основе сульфата также связано со смягчением последствий выделения метана. Метра-Кортон и др., (*Metra-Corton et al.*, (2000)) отметили, что применение сульфата аммония на рисовых полях сокращало выделение метана на 25-36%. Применение фосфогипса (дигидрид сульфата кальция) в комбинации с мочевиной сократило выделение метана более чем на 70%. Применение сульфатсодержащих удобрений сокращает выделение метана затопляемыми рисовыми полями (Адхиа и др. (*Adhya et al.*, 1998)). Напротив, внесение в почвы органических источников, например, зеленого удобрения и рисовой соломы может стимулировать выделение метана (Денир ван дер Гон и Нё, (*Denier van der Gon and Neue*, 1995)).

Внекорневое внесение азотного удобрения – еще одна потенциальная практика смягчения последствий для уменьшения выбросов CH_4 рисовыми полями Кимура и др. (*Kimura et al.*, 1992)). Адхиа и др., (*Adhya et al.* (1998)) отметили значительное торможение производства CH_4 и его выделения путем применения простого суперфосфата, и менее значительное торможение – применением горного фосфата. Они объяснили этот эффект торможения высоким содержанием PO_4^{3-} в P -удобрениях. Ингибиторы нитрификации (тиомочевина, тиосульфат натрия и дициандиамид) ингибируют образование рисовыми полями CH_4 (Бронсон и Мосир 1994 (*Bronson and Mosier* 1994)).

Рат и др., (*Rath et al.*, (1999)) отметили, что эффективность подповерхностного применения гранулированной мочевины высшего качества было незначительной в сокращении потока CH_4 по сравнению с необработанными контрольными участками. Бронсон и Мосир (*Bronson and Mosier* (1994)) отметили, что N удобрения ингибируют метанотрофные микроорганизмы в почве. В целом, удобрения с аммиачной формой (NH_4^+-N) увеличивают выделение CH_4 .

В принципе, по предположениям, существует три различных причины для ингибирующего действия азотных удобрений, особенно NH_4^+-N -удобрений, на окисление CH_4 , которые приводят к увеличению выделения CH_4 :

- 1) Прямое ингибирующее действие на метанотрофную ферментную систему (Бедард и Ноулз (*Bedard and Knowles*, 1989)).
- 2) Вторичное ингибирующее действие посредством производства N_2O от метанотрофного NH_4^+ + окисление (Мегро и Ноулз (*Megraw and Knowles*, 1987)).
- 3) Динамическое изменение микробных сообществ почвы (Поулсон и др. (*Powlson et al.*, 1997)).

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

- 1) Стимулируется рост с/х культур и урожайность на фоне смягчения последствий выбросов по сравнению с удобрениями, не имеющими потенциала смягчения последствий.

Недостатки

- 1) Удобрения с более высоким потенциалом смягчения последствий могут стоить дороже.
- 2) Экономика и потенциал смягчения последствий

Согласно Вассманну и Патаку (*Wassmann and Pathak (2007)*), производство риса без органических удобрений продемонстрировало техническую возможность смягчения последствий выбросов при относительно низких затратах. Добавление фосфогипса является эффективной стратегией по смягчению последствий выбросов. Его фактическая стоимость колебалась от \$1,5 до \$2,5 за тонну сэкономленных выбросов CO₂ на Филиппинах и в Китае, соответственно; Потенциал смягчения последствий составляет, приблизительно, 1 тонну сэкономленных выбросов CO₂ на га. Однако, относительная стоимость фосфогипса в Харьяне (Индия) был выше (\$5 за тонну сэкономленных выбросов CO₂), при этом потенциал смягчения последствий составляет 0,29 т сэкономленных выбросов CO₂ на га.

iv. Примеры/места применения в настоящее время

- 1) Азотные удобрения широко используются во всем мире. Однако, обдуманный выбор типа удобрений на основе потенциала выбросов ПГ обычно не делается.

v. Препятствия в распространении

- 1) Необходимо провести сайт-специфичное исследование, чтобы установить, какие удобрения экономически эффективны, как в отношении повышения урожайности, так и в отношении их потенциала уменьшения выбросов ПГ. Эта информация также должна быть представлена фермерам.

3.5.9 Изменение метаногенной активности с использованием электронных акцепторов

i. Определение технологии

Дополнительное внесение электронных акцепторов, таких как ферригидриты, на орошаемых рисовых полях может стимулировать конкурирующие друг с другом микробные популяции и замедлить деятельность метаногенов, сокращая, таким образом, выбросы метана.

ii. Описание технологии

Согласно Лудерсу и Фридриху (*Lueders and Friedrich (2002)*), выделение метана орошаемыми рисовыми полями может быть сокращено дополнительным внесением электронных акцепторов с целью стимулирования микробных популяций, конкурирующих с метаногенами. При внесении ферригидритов эффективно потреблялся ацетат (<60 μM), и через три дня произошло быстрое, но неполное ингибирование метаногенеза.

Метаногенезис можно подавлять дополнительным внесением альтернативных электронных акцепторов, таких как Fe (III) или сульфат, когда электронные доноры, обеспечивающие дыхательные процессы, становятся ограничением (Ахтнич и др. (*Achtnich et al.*, 1995)). Эта стратегия смягчения последствий основана на термодинамической теории, согласно которой энергетически более благоприятный электронный акцептор используется первым при ограничивающих условиях субстрата (Зехндер и Стамм (*Zehnder and Stumm*, 1988)). Микроорганизмы, которые могут редуцировать энергетически более благоприятные электронные акцепторы (например, нитрат, Fe (III), сульфат) вытесняют те, которые используют менее энергетически благоприятные электронные акцепторы (например, CO).

В рамках микробного сообщества в почве рисового поля могут происходить функциональные сдвиги путем добавления альтернативных электронных акцепторов в форме ферригидрита и гипса, что, таким образом, способствует дыхательным процессам отличным от метаногенезиса. При дополнительном внесении гипса быстро потреблялся водород до низких уровней ($\sim 0,4$ Pa), что указывает на присутствие конкурентоспособной популяции гидрогенотрофных сульфатвосстанавливающих бактерий (*SRB*). Это сопровождалось подавлением активности гидрогенотрофных RC-I метаногенов, как указано, самыми низкими количествами *SSU rRNA*. Полное подавление метаногенезиса стало очевидным только тогда, когда ацетат был истощен до неразрешающих порогов ($< 5 \mu\text{M}$) через 10 дней.

Улучшенная активность *FRB* (восстанавливающие бактерии трёхвалентного железа) и *SRB* (восстанавливающие бактерии сульфата) приводит к почти полному подавлению метаногенезиса в условиях ограничивающего субстрата и неограничивающей доступности электронных акцепторов. С учетом потенциала электронов поглощать восемь электронов CO_2 и SO_4^{2-} , и один электрон на Fe^{3+} , сульфата в полной мере соответствовала количеству метана невыделенного при ингибировании. *FRB* также участвует в окислении других доноров электронов кроме ацетата и H_2 , таким образом, ограничивая восстановительные свойства метаногенезиса. Это может быть еще одной причиной более низкой эффективности подавления метаногенезиса при обработке ферригидритом. Это было также продемонстрировано Лудерсом & Фридрихом (*Lueders & Friedrich* (2002)) следующим образом: хотя в почву добавляется агент, смягчающий последствия, такой как гипс, в количестве, составляющем, приблизительно одну десятую ферригидрита, тем не менее, эффекты смягчения являются сопоставимыми: 69 % и 85 % подавления метана, соответственно.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

- 1) Выделение метана может быть сокращено.

Недостатки

- 1) Этот подход все еще находится в стадии экспериментов.

iv. Экономика и потенциал смягчения последствий

Экономические характеристики и потенциал смягчения последствий еще не установлены.

v. Примеры/места применения в настоящее время

Добавление альтернативных электронных акцепторов все еще находится в стадии экспериментов и не является агротехническим методом.

vi. Препятствия в распространении

Необходимо провести больше исследований, чтобы определить экономическую эффективность этого подхода, а также его воздействие на урожайность и окружающую среду.

3.5.10 Краткое обобщение и потенциал различных технологий смягчения последствий изменения климата для сокращения выбросов с рисовых полей

Оптимизация режимов орошения путем использования периодов осушения полей или раннего среднесезонного дренажа сократила выделение CH_4 на 7-80 % по сравнению с орошением затоплением. Использование компостированной, а не свежей рисовой соломы сократило выбросы на 58-63 %. Такие значительные сокращения и относительная легкость реализации предполагают, что это лучшие технологии для смягчения последствий выделения метана для фермеров (Вассман и др. (*Wassman et al.* 2000)). Смягчение последствий выделения CH_4 на 16-22 % предполагает, что было бы полезно, если бы сопутствующие проблемы со снижением урожайности можно было бы решить за счет более высоких норм высева или каким-либо другим образом. По сравнению с гранулированной мочевиной, как единственным источником N, сульфат аммония может сократить выделение CH_4 на 10-67%. Выделение метана может быть снижено объединением вспашки под пар (11 %) и мульчирования (11 %) рисовой соломы, а также добавлением фосфогипса (9-73 %) во всех рисовых экосистемах. Ингибиторы нитрификации могут подавлять выделение метана затопляемыми почвами (Бронсон и Мосир, (*Bronson and Mosier*, 1991)). Выделение метана было самым низким на участках, обработанных смесью гранулированной мочевины и нимина, ингибитора нитрификации, который подавляет автотрофное окисление NH^+ в NO^- (Сахрават и Пармар (*Sahrawat and Parmar*, 1975)). Удаление поверхностного торфяного слоя почвы (почва с высоким процентом органического материала) перед орошением значительно сокращает выделение метана. Об этой практике (технология торфяной почвы) недавно сообщили российские ученые (Сирин и др. 2010).

Внесение рисовой соломы в почву, в принципе, увеличивает выделение CH_4 . Однако, может возникнуть проблема с ее удалением. Так, по сравнению со сжиганием, использование рисовой соломы перед посевом пшеницы в Харьяне (Индия) или овощных с/х культур на Филиппинах и Китае привело к значительным сокращениям, приблизительно, на 0,4 т выбросов C на га⁻¹ в выбросах метана (Вассман и Патак). Однако, полевые работы и их неблагоприятные воздействия на культуры, выращиваемые в высокогорных долинах, делают этот вариант дорогостоящим.

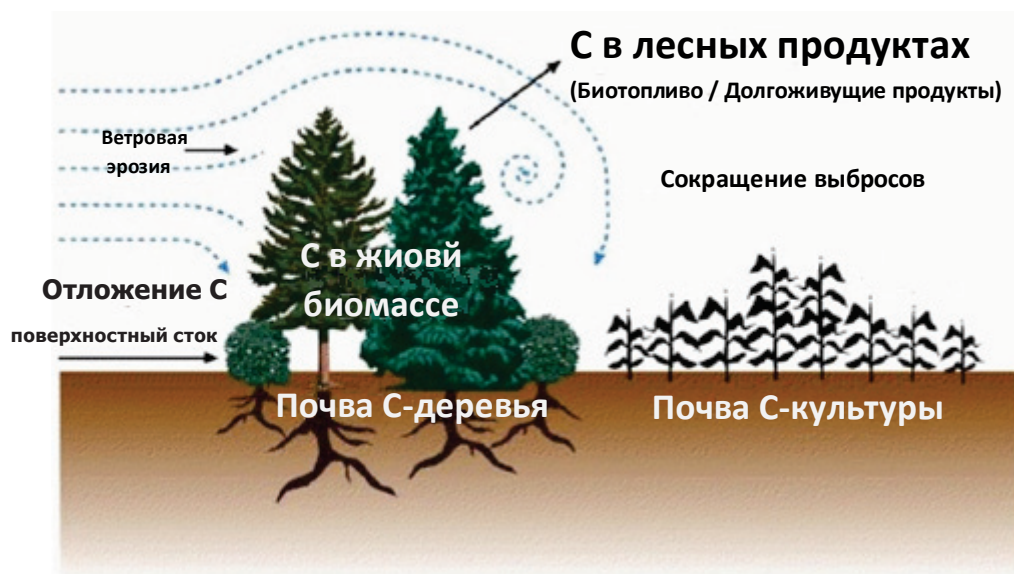
Смешивание соломы со строительными материалами или кормами для животных является дополнительной возможностью.

Потенциал смягчения последствий может быть реализован путем использования новых культурных сортов риса, дающих меньше выбросов, но их семена стоят дороже (Патак и Вассманн (*Pathak and Wassmann, 2007*)). Использование таких сортов оправдано только в условиях значительного выделения метана, т.е. в Китае и на Филиппинах. Задачей исследований в области рисоводства является разработка технологий, увеличивающих продуктивность риса и, в то же время, сокращающих выделение ПГ.

3.6 Агролесоводство

Совершенствование управления пастбищами и сельхозугодиями, а также агролесоводство обеспечивают значительный потенциал секвестрации углерода (РКООНИК, 2008а). Поверхностные методы удаления CO_2 основаны на том, что растения поглощают его из атмосферы путем фотосинтеза и сохраняют в виде органического углерода в биомассе на земной поверхности (деревья и другие растения) и в почве в ходе роста корня и поглощения органических веществ (Рисунок 3.9). Таким образом, процесс потери углерода в связи с изменением землепользования может быть повернут в противоположном направлении, по крайней мере частично, посредством улучшения методов пользования земельными ресурсами и управления ими. Помимо лесоразведения, изменения в организации землепользования, такие как обработка земли, сокращающая разрушение структуры почвы и использование растительных остатков предыдущего урожая, могут удалять углерод из атмосферы и сохранять его в почве на протяжении использования таких методов землепользования. Системы агролесоводства зависят от региона. Однако, с/х культуры и леса увеличат возможность агросистем улавливать углерод.

Рисунок 3.9 Агролесоводство и секвестрация углерода



Источник: IGUTEK (2011)

i. Определение технологии

Агролесничество, по определению Всемирного центра агролесоводства, является «динамичной, экологически обоснованной системой управления природными ресурсами, которая, посредством интеграции деревьев на фермах и сельскохозяйственных угодьях, разнообразит и поддерживает производство, направленное на увеличение социальных, экономических, и экологических преимуществ для землепользователей на всех уровнях». С другой стороны, «Ассоциация за умеренное агролесоводство» характеризует это как «интенсивную систему организации землепользования, которая оптимизирует преимущества в результате биологических взаимодействий, создаваемых сознательным комбинированием деревьев и/или кустарников с с/х культурами и/или животноводческой деятельностью» (IGUTEK, 2011).

ii. Описание технологии

Агролесоводство – одна из важных систем секвестрации углерода в земных экосистемах. Оно включает сочетание деревьев, сельскохозяйственных зерновых культур и пастбищ для использования экологического и экономического взаимодействия агроэкосистемы. Агроэкосистемы играют центральную роль в глобальном углеродном цикле и содержат, приблизительно, 12% мирового углерода в земной коре (Диксон, (Dixon, 1995)). Увеличение секвестрации С агро-лесами является важным элементом всесторонней стратегии по смягчению последствий выбросов ПГ. Согласно Ричардсу и Стоуксу (Richards and Stokes (2004)), лесные угодья могут связывать, приблизительно, 250 млн метрических тонн углерода каждый год (12 % от общего количества выбросов CO₂), пахотные земли могут связывать, приблизительно, 4-11% атмосферного С/год, а пастбища могут связывать, приблизительно, 5 % атмосферного С/год в США. Система насаждения деревьев на стратегических участках на фермах для того, чтобы компенсировать потери углерода вследствие вырубки деревьев для целей сельского хозяйства, называется агролесоводством. Она обладает самым большим потенциалом увеличения сельскохозяйственного связывания углерода в тропических странах (Юкхана и Айдол (Youkhana and Idol, 2009)).

Увеличение агролесоводства может осуществляться с использованием методов, способствующих увеличению выбросов ПГ, таких как сменная культивация, уход за пастбищами с использованием выжигания, орошаемое рисоводство, использование N удобрений, и животноводство. С другой стороны, было проведено несколько исследований, которые показали, что включение деревьев в сельскохозяйственный ландшафт, зачастую способствует улучшению производительности систем и обеспечивает возможности создания углеродных воронок Альбрехт и Кандж (Albrecht and Kandj, 2003)). Деревья играют различные функции, обеспечивая, в том числе, затенение с/х культур от прямых солнечных лучей, борьбу с эрозией и круговорот питательных веществ. Затенение с/х культур и ризосферы деревьями значительно сокращает эвапотранспирацию (ЕТ) посевных площадей, общее ЕТ с/х культур и деревьев может возрасти. Содержание органического углерода в почве возрастает со скоростью 50 кг/га/год в верхних 10 см улучшенных лесных плантаций акации рода *Cassia siamiae*, где высокий уровень опада *Cassia* 5-10 мг/га/год) способствует поддержанию высокого содержания органического углерода (Лат и др. (Lal et al., 1998b)).

Рисунок 3.10 Агролесоводство в Буркина Фасо пальмами из рода *Borassus* *akeassii*, кукурузой и акацией из рода *Faidherbia albida*



Источник: Marco Schidt http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Faidherbia_albida.JPG?uselang=en-gb

Бамбук обеспечивает особенно эффективную агро-лесную воронку CO_2 , связывая С на уровне 47 %, т.е. 12-17 т CO_2 на гектар в год. Он также производит на 35% больше кислорода, чем другие древесные породы (Аггарвал (*Aggarwal, 2007*)). Кроме того, бамбуковые плантации обеспечивают средства к существованию людям, чьи доходы зависят от лесных продуктов. Деградированные земли могут использоваться для плантаций быстро растущих клонов бамбуковых пород высотой до 18,00 м. Бамбук растет намного быстрее, чем другие деревья, при этом некоторые его виды вырастают до 150 футов всего за шесть недель, т.е., иногда, более 4 футов в день. Бамбук является растением, используемым для мелиорации, т.к. он может также расти на чрезмерно стравленных пастбищных почвах при недостаточной сельскохозяйственной обработке Аггарвал (*Aggarwal, 2007*)).

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

- 1) Деревья действуют в качестве буфера при бурях, спасая от уничтожения урожай.
- 2) Леса в засушливых районах связывают углерод, понижая интенсивность дыхания и быстро подрастая в начале весны, чтобы использовать наиболее благоприятные для роста температуры (Ротенберг и Якир (*Rotenberg and Yakir, 2010*)).

- 3) Корни деревьев углубляются значительно глубже, чем корни с/х культур, перенося, таким образом, органические вещества на большую глубины в почве, где ее обработка не может ускорять разложение этих веществ и выделение CO_2 . В некоторых случаях деревья извлекают воду с большей глубины, что позволяет перераспределять ее на мелких глубинах, оказывая положительный эффект на рост подлеска. В некоторых случаях сообщалось об отрицательных эффектах и, таким образом, это явление остается спорным (Прието и др. (*Prieto, et al.*, 2012)). В то время как такое перераспределение воды может быть экологически важным, позволяя некоторым видам растений выжить и спасая их от гибели, еще не вполне ясно, обеспечивает-ли участвующая в этом процессе вода существенное увеличение урожая сельскохозяйственных культур.
- 4) Опадающие листья производят компост и служат мульчей, которая сокращает поверхностный сток при ливнях. Это также замедляет потерю воды почвы при испарении в атмосферу.
- 5) Деревья при агролесоводстве также улучшают растительный покров в сельскохозяйственных зонах и подают углерод (биомасса корней, опад и опавшие и обрезанные ветки) в почву. Они зачастую сокращают эрозию почвы, что является решающим процессом в углеродистой динамике почвы.
- 6) Связывание углерода продолжается и после уборки урожая, если стволы, стебли, или ветки обрабатываются в длительно хранящиеся продукты, которые не разлагаются и не выделяют CO_2 .
- 7) В микроклимате, создаваемом агролесоводством, улучшается качество и растет урожайность некоторых с/х культур, хотя проведение ее оценки затруднительно (Эбелинг и Ясу (*Ebeling and Yasue*, 2008)).
- 8) Увеличение углерода в почве очень благоприятно для продуктивности сельского хозяйства и его устойчивости.
- 9) Затраты на обеспечение связывания углерода посредством агролесоводства оказываются намного ниже, чем другими методами смягчения последствий выделения CO_2 (Альбрехт и Канджи (*Albrecht and Kandji*, 2003)).

Недостатки

- 1) Эта технология построена на очень медленном процессе минимального связывания углерода.
- 2) Углерод в почве увеличивается только в более сухих местах и фактически уменьшается в более влажных местах на территории агролесоводства (Джексон и др. (*Jackson et al.*, 2002)). В результате, чистый остаток углерода незначительно положителен в сухих местах, но отрицателен во влажных.
- 3) В условиях сухого климата, конкуренция между деревьями за воду обычно приводит к низким урожаям, что делает эту технологию непривлекательной для фермеров засушливых регионов. В условиях сухого климата, деревья, с их эффективными корневыми системами,

забирают больше воды по сравнению с с/х культурами с относительно менее эффективными корневыми системами; таким образом, с/х культуры более уязвимы к дефициту воды, что приводит к снижению урожайности (Шредер (*Schroeder*, 1995)).

- 4) Существуют различные виды вредных насекомых, вредителей, и болезней, связанных с мертвыми или умирающими деревьями. Они являются большой угрозой для развития агролесоводства в тропиках.
- 5) Выбросы в атмосферу других парниковых газов, таких как N_2O и CH_4 могут увеличиться, что сокращает общий потенциал смягчения последствий.

iv. Экономика и потенциал смягчения последствий

Согласно Лалу и др. (*Lal et al.* (1998a)), затраты небольших предприятий агролесоводства после рекапитализации питательных веществ составляли \$87 на тонну поглощаемого углерода на Восточноафриканском плоскогорье. Судха и др. (*Sudha et al.* (2007)) провели анализ сценариев с рентабельностью основной (перец чили – лучшая альтернатива агролесоводству и доминирующей пред-плантационной культуре) культуры и агролесоводства (клоны эвкалипта) в районе Кхаммам (*Khammam*), Индия. Эффективность затрат по обоим сценариям приведена в Таблице 3.9.

Таблица 3.9 Эффективность затрат по базовому и проектному сценариям в течение периода 2006–2035 годов

	Базовый сценарий ^a	Проектный сценарий
Приведённая стоимость (<i>PV</i>) затрат (\$/га)	297	108
<i>PV</i> прибыли (\$/га)	423	235
Чистая приведённая стоимость (<i>NPV</i>) прибыли (\$/га/год)	126	178
Коэффициент рентабельности	1,42	2,18

a В качестве базового сценария использовалась наилучшая альтернатива плантациям (чили).

Примечание: Приведенная стоимость (*PV*) – это стоимость на конкретную дату выплаты из серии выплат, осуществляемых в другое время. Чистая приведенная стоимость (*NPV*) временного ряда определяется как сумма приведенных стоимостей отдельных кассовых потоков (поступающих в кассу и выплачиваемых из кассы) одного и того же лица.

Источник: Судха и др. (*Sudha et al.*), 2007

Такимото и др. (*Takimoto et al.* (2008)) провели опыты с двумя типами систем агролесоводства (живая изгородь и фуражный банк) в регионе Сегу, Мали. Чистая приведенная стоимость живой изгороди составила \$96 (*NPV*), коэффициент рентабельности (*BCR*) – 1,53 и дисконтированная норма прибыли (*IRR*) – 25,5 %, в то время как показатели проекта фуражного банка равнялись \$159 *NPV*, 1,67 *BCR* и 29,5 % *IRR*.

Продвижение агролесоводства может сократить количество углерода, выделяемого в атмосферу, ежегодно на 700 000 млн тонн (Рабиндра Нат и Садха (*Rabindra Nath and Sudha*, 2004)). Это может произойти в результате регулируемого выпаса, контролируемого сжигания, использования удобрений, улучшения культурных сортов растений, и восстановления растительности земли после мелиорации.

Согласно Роттенбергу и Якиру (*Rottenberg Yakir* (2010)), агролесоводство в полусухих регионах может секвестрировать столько же углерода, как и леса в умеренных регионах. Каждая тонна углерода, поглощенного и сохраненного растениями или почвой удаляет 3,6 т CO₂ из атмосферы.

v. Примеры/места применения в настоящее время

Агролесоводство практикуется, в некоторой степени, во всем мире. Особенно оно используется для с/х культур, качество которых улучшается благодаря затенению. В настоящее время, уже осознаются и другие преимущества агролесоводства, включая поглощение углерода, и его популярность растет. Одна из таких систем с высокой урожайностью 2-летних клонов эвкалипта и однолетней промежуточной междурядной культурой пшеницы в системе поликультур, разработанная в Пенджабе, Индия, показана на Рисунке 3.11.

Рисунок 3.11 Система агролесоводства в Пенджабе, Индия



Поликультура с урожаем во второй год клонированного сорта двухгодичного эвкалипта с высокой доходностью и однолетней промежуточной междурядной культурой пшеницы, управляемая как система агролесоводства. (Джаландхар, Пенджаб, Индия)

Источник: лесоводство GIT 2008

vi. Препятствия в распространении

Свет является сдерживающим фактором для выращивания культур в системе агролесоводства, большинство культур дают меньший урожай при затенении высшими растениями. Поэтому, если, при наличии таких преимуществ, как улучшение качества и поглощение углерода, нельзя будет решить вопрос снижения урожая, маловероятно, что агролесоводство будет широко распространенным. Кроме того, большинство фермеров имеют оборудование только для возделывания нескольких схожих культур. Адаптация к одновременному выращиванию низкорослых и высокорослых древесных культур представляет для них большую проблему.

4. Ведение животноводческого хозяйства

В 2005 г. на животноводство приходилось более одной трети глобальных выбросов метана и две трети общих выбросов метана сельским хозяйством (рисунок 2.6). Хотя существует ряд стратегий смягчения последствий выбросов метана, накопленный на сегодняшний день опыт принятия мер политики для поощрения внедрения таких стратегий ограничен.

Технологии смягчения последствий выбросов метана

Возможные варианты смягчения последствий выбросов энтерального метана относятся к трем общим категориям:

1. Усовершенствованная практика кормления. Эффективность использования кормов можно повысить за счет повышения энергоемкости и перевариваемости кормов, с тем чтобы меньше корма превращалось в метан и больше использовалось в качестве продукции.
2. Использование специальных средств и кормовых добавок. Выбросы метана можно сократить, заменяя концентраты в рационе животных фуражом, добавляя в рацион масла или семя масличных культур и повышая качество пастбищ. Натуральные и синтетические добавки в рацион (такие как гормон роста бычий соматотропин (БСТ) и антибиотики) помогают животным использовать больше потенциальной энергии, содержащейся в корме, и подавлять образование метана.
3. Изменение содержания и селекции животных (МГЭИК (IPCC, 2007a)). Повышение производительности животных путем селекции и улучшения содержания животных также сокращает выбросы метана в расчете на единицу продукции. Например, если убойные животные достигают убойного веса в более молодом возрасте, выбросы метана за всю жизнь животного сокращаются.

Смягчение последствий общих выбросов зависит от достаточного уменьшения общей численности животных. Такой подход к уменьшению последствий выбросов метана может быть принят, если он будет применяться в комплексе с повышением производительности животных, с тем чтобы производство молока и мяса все равно могло повышаться для удовлетворения потребительского спроса.

4.1 Усовершенствованная практика кормления

4.1.1 Смягчение последствий выбросов энтерального метана CH_4 путем распространения аммонизированных соломы и силоса

i. Определение технологии

Аммонификация соломы: процесс аммонификации дешевого фуража, такого как стебли кукурузы, стебли риса, стебли пшеницы и стебли прочих культур. Добавление в качестве источников аммиака жидкого аммиака, мочевины или бикарбоната аммония ведет к полному разложению лигнина соломы, при этом повышается содержание биогенных веществ. Это повышает перевариваемость соломы рубцовыми микроорганизмами, что повышает перевариваемость фуража.

Соломенный силос: это фураж, изготовленный путем ферментации измельченного молодого зеленого корма, кормовой травы и всех видов ботвы и прочих материалов лактобактериями в анаэробных условиях хранилища для силоса (силосной башни или силосной ямы).

ii. Описание технологии

а) Аммонификация соломы

Целлюлозная часть соломы может перевариваться и использоваться жвачными животными, тогда как часть, представленная лигнином, не переваривается. Главное назначение аммонификации – при помощи аммиака и соломы вызвать реакцию аммонолиза путем разрыва сложноэфирных связей между лигнином и полисахаридом, с тем чтобы он легче вступал в контакт с пищеварительными ферментами для повышения перевариваемости соломы. Перевариваемость и потребление в качестве корма аммонизированной соломы повышается приблизительно на 20%, а содержание сырого протеина в аммонизированной соломе увеличивается в 2-3 раза (Guo, 1996)).

Аммонификация соломы включает главным образом следующие процедуры:

Выбор сырья

В качестве сырья для аммонификации можно использовать солому всех видов культур надлежащего качества, без плесени, содержание воды в которой не превышает 13%, например, солому, стебли кукурузы и пшеничную солому и прочие отходы сельского хозяйства, такие как рисовая шелуха и шелуха семени хлопчатника.

Источник аммиака и его дозировка

Источники аммиака включают жидкий аммиак, мочевины и бикарбонат аммония, из которых наиболее часто используется мочевина. Дозировка мочевины и бикарбоната аммония составляет, соответственно, приблизительно 3-5% и 8-12%.

Емкости для аммонификации

Емкостями могут служить зацементированный аммонификационный пруд (подвальное помещение для хранения), пластик (рисунок 4.1), резервуар для воды, бассейн и т.д.

Метод аммонификации

Исходя из используемого источника аммиака различают следующие методы аммонификации: метод обработки жидким аммиаком, метод обработки мочевиной, метод обработки водным раствором аммиака, метод обработки бикарбонатом аммония, метод обработки мочевиной и известью и т.д., из которых Китаем и другими развивающимися странами наиболее интенсивно применяется метод обработки мочевиной (см. Рисунок 4.1). Метод обработки мочевиной гибче, и его можно применять при стоговании, в аммонификационной печи и прочих емкостях для аммонификации.

Время аммонификации

Продолжительность аммонификации тесно связана с температурой внешней среды и обычно составляет летом 2-3 недели, весной и осенью 3-6 недель и зимой 8 недель и более. Солома хранится в сумке при температуре 20-30°C 7-14 дней, однако при температуре атмосферного воздуха выше 30°C продолжительность аммонификации составляет всего 5-7 дней.

Сохранение и использование аммонизированной соломы

Аммонизированная солома хранится в стогах или иных емкостях более шести месяцев. При обработке соломы мочевиной и прочими источниками аммиака содержание влаги в соломе относительно высоко. Солому следует извлечь из емкости для аммонификации исходя из желаемого объема корма перед кормлением и высушить в хорошо проветриваемом месте в течение 10-24 часов, чтобы дать улетучиться оставшемуся аммиаку. Соломой нельзя кормить до полного выветривания запаха аммиака, вызывающего раздражение глаз и носа, но ее не следует пересушивать во избежание неблагоприятного действия на эффект аммонификации. Емкость для аммонификации следует закрывать после каждого изъятия материала.

Рисунок 4.1 Процесс аммонификации соломы



Источник: http://www.hbav.gov.cn/structure/zwxh/hygz/qszy_679_1.htm

б) Соломенный силос

Для изготовления соломенного силоса свежие растения плотно упаковываются в воздухонепроницаемую емкость, и сахар, содержащийся в сырье, превращается в органические кислоты (главным образом молочную кислоту) путем анаэробной ферментации микроорганизмов (преимущественно лактобактерий). Когда молочная кислота в силосном материале достигает определенной концентрации (pH ниже 4,2), подавляется активность других микроорганизмов, и биогенные вещества в материалах не могут разлагаться и уничтожаться микроорганизмами. Это позволяет удерживать биогенные вещества в фураже. В процессе молочнокислого брожения вырабатывается много тепла. Когда температура силосного материала поднимается до 50°C, действие лактобактерий прекращается и брожение завершается. Поскольку фураж для силоса хранится в воздухонепроницаемых условиях, в которых не действуют микробы, он длительное время остается неизменным.

Производство соломенного силоса включает главным образом следующие процедуры:

Выбор силосных материалов

Фураж для силоса может поступать из различных источников. Как правило, для силоса могут использоваться злаковые культуры, бобовые культуры, корнеплоды, корневища, водный корм и листья. В настоящее время наиболее часто используемым материалом является силосная кукуруза, за которой следуют лопающаяся кукуруза, стебли сорго, ботва свежего батата, бурьян и люцерна.

Своевременный сбор урожая

Уборка стеблей кукурузы для силоса осуществляется, когда листья, достигшие восковой спелости, и желто-зеленые листья составляют половину стебля. В случае использования в качестве силоса ботвы батата должен быть внедрен метод уборки ботвы до заморозков и уборки батата после заморозков. Уборку злаковых и бобовых фуражных трав следует осуществлять, соответственно, в фазе колошения и полного цветения, после чего для получения силоса они смешиваются со стеблями зеленой кукурузы в соотношении 1:2.

Регулирование содержания влаги

Если в собранных силосных материалах высоко содержание влаги, их можно соответствующим образом высушить в поле в течение 2-6 часов после уборки для сокращения содержания воды до 65%-70%. Если в соломе культур низкое содержание влаги, в нее можно добавить воду или ее можно перемешать со свежесрезанными зелеными материалами и наполнить ими для корректировки содержания влаги.

Емкость для силоса

К емкостям для силоса относятся главным образом силосная башня, силосная траншея, силосная колонна, силосный мешок и силосный тюк. Для силоса следует выбирать сухие места на возвышенности с хорошим дренажем, приспособленные для подготовки силоса и доступа к нему (см. рисунок 4.2).

Резка

После транспортировки фуража в выбранное место он должен быть быстро нарезан соломорезкой. Интервал резки зависит от типа фуража. Как правило, зеленые стебли кукурузы нарезаются с интервалом 1,5-2,5 см, а ботва свежего батата – с интервалом 2-4 см. Чем короче интервал резки, тем плотнее можно уплотнить силос при заполнении емкости, что в большей степени способствует вытеснению воздуха. Это также укорачивает период аэробной деятельности микроорганизмов в процессе приготовления силоса для обеспечения создания анаэробной среды.

Наполнение и уплотнение

Силосные материалы следует нарезать и помещать в емкость в любое время и хорошо уплотнить с шагом увеличения глубины 20-30 см. Если в уплотнении по иным причинам делается длительный перерыв, верхний слой следует уплотнить второй раз при пополнении емкости, чтобы не допустить отдачи фуража. Уплотнение призвано вытеснить воздух и создать ферментационные условия для анаэробных бактерий для силоса. Чем плотнее наполнение емкости силосными материалами, тем тщательнее вытесняется воздух и тем выше качество силоса. Время заполнения и уплотнения должно быть коротким – как правило, менее трех дней.

Герметизация и управление

Силосный материал следует штабелировать на 50-60 см выше входного отверстия колонны (резервуара) и покрыть слоем полимерной пленки. Потом он покрывается и уплотняется землей для придания ему внешнего вида паровой булочки. Толщина почвенной герметизации составляет около 40-50 см. Могут образоваться трещины, которые возникают приблизительно через неделю после хранения, и их следует оперативно устранять для недопущения утечки воды и газа. Проседание обычно прекращается на десятый день хранения. После этого емкость, используемую как склад, можно обложить землей, с тем чтобы верх колонны был на 30-40 см выше земли. Верху колонны следует придать форму паровой булочки и отделать штукатуркой. Помимо этого, следует не допускать на этом месте топтание скота, вести борьбу с вредителями и противодействовать фильтрации воды.

Рисунок 4.2 Полимерные силосные мешки



Источник: авторы.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества аммонификации соломы

1. Экономия зерна и уменьшение зависимости животноводства от зерна.
2. Улучшение вкусовых качеств и потребления фуража скотом.
3. Повышение на 10%-12% перевариваемости органических веществ в фураже и удвоение содержания сырого протеина.
4. Простота доступа к материалам простыми методами.
5. Сокращение затрат на кормление и увеличение экономических выгод.

Недостатки аммонификации соломы

1. Эффективность использования аммиака составляет всего приблизительно 50%. Излишки аммиака сбрасываются в окружающую среду после открытия аммонификационных установок, что загрязняет окружающую среду и создает угрозу для здоровья животных и людей.

Преимущества соломенного силоса

1. Минимальные потери биогенных веществ (как правило, менее 10%) и эффективное сохранение зеленого корма в свежем виде.
2. Ароматный, мягкий, сочный и, следовательно, обладающий чрезвычайно приятным вкусом для скота.
3. Расширяет сферу применения источников корма.
4. Легко хранить в больших объемах длительное время в качестве экономичного и безопасного метода хранения силоса.
5. В меньшей степени ограничивается во время хранения климатом и временем года.
6. В процессе приготовления силоса уничтожаются патогенные насекомые, семена сорняков и т.д.
7. Повышенная перевариваемость корма и смягчение последствий выбросов метана.

Недостатки соломенного силоса

1. Процесс производства соломенного силоса должен быть оперативным.
2. Высокая степень механизации требует больших инвестиционных затрат.

iv. Экономические аспекты и потенциал снижения выбросов

Выбросы метана жвачными животными образуются в ходе обычной ферментации корма, попадающего в желудочно-кишечный тракт животных. Потери энергии в форме метана жвачных животных составляют приблизительно 2%-15% общего энергопотребления (МГЭИК (IPCC, 2000)). Как правило, объем выбросов метана одним животным увеличивается с весом животного. Более высокие выбросы метана наблюдаются при более высоком потреблении корма и более низкой перевариваемости корма. Следовательно, одним из действенных способов смягчения последствий выбросов метана жвачными животными является повышение качества корма и производительности животных (Донг (Dong, et al., 2008)).

Аммонификация соломы и силоса значительно повышают перевариваемость фуража. Один из экспериментов показал, что потребление корма повышается на 53% и 32,8%. Помимо этого, при кормлении мясного скота аммонизированной соломой и силосом среднесуточный прирост массы увеличивается на 126% и 97,4% по сравнению с кормлением сухими кукурузными стеблями (Ванг и др. (Wang et al., 2008)). В работе Донга и др. ((Dong, et al., 2004) проведены расчеты и сопоставление методом МГЭИК выбросов метана жвачными животными после того, как солома была обработана с применением технологии аммонификации и силосования. Результаты показали, что при кормлении животных обработанной соломой выбросы метана сокращаются на 16%-30% по сравнению с кормлением сухой соломой. Выбросы метана мясным скотом, который кормили сухими кукурузными стеблями и силосом из кукурузных стеблей, составляли, соответственно, 229 л/сут и 196 л/сут в условиях идентичных уровней энергопотребления и одинакового соотношения измельченного корма и грубого корма; выбросы метана сократились на 14,4% по сравнению с сухими стеблями (Фэн и др. (Fan et al., 2006)). В работе На Ренхуа и др. (Na Renhua et al., 2010) на основе экспериментов с перевариванием в пробирке было показано, что кукурузная солома после обработки с применением силосной технологии повышает перевариваемость корма и сокращает образование метана; при одинаковом соотношении измельченного корма и грубого корма выбросы метана сокращались на 30% при кормлении силосом по сравнению с кормлением сухой кукурузой. В Китае соотношение кормления животных силосом и аммонизированной соломой составляет в настоящее время лишь 44%. Экономия корма, повышение эффективности использования кормов и смягчение последствий выбросов метана – все это можно достигнуть путем повышения соотношения силоса к аммонизированной соломе. Потенциал смягчения последствий выбросов метана также огромен.

Инвестиции в технологию аммонификации соломы и силосования касаются в основном расходов на строительство складских помещений, технику и покрытие. Увеличение экономических выгод достигается главным образом за счет повышения суточного прироста массы и надоев молока животных, которых кормят обработанным фуражом. В работе Ванг и др. (Wang et al., 2008) путем проведения эксперимента с мясным скотом, который кормят кукурузными стеблями, который проводится с применением разных методов обработки, показано, что при применении аммонизированной соломы и силоса стоимость грубого корма в расчете на одну корову увеличивается, соответственно, на 45,5% и 51,6%. Однако соответствующие доходы возрастают

на 153% и 68,8%. Результаты исследований, проведенных Ли Вен-бином (Li Wen-bin et al., 2010), показали, что при кормлении мясного скота силосом прибыль увеличивается на 51,5% по сравнению с кормлением сухими кукурузными стеблями. Можно сделать вывод, что кормление животных аммонизированной соломой и соломенным силосом приносит значительную экономическую выгоду.

v. Примеры/места, в которых в настоящее время это практикуется

Применение технологии аммонификации соломы поддерживается в Китае с 1985 г., и она уже применяется в различных регионах страны. По данным национального отчета об обследовании и оценке ресурсов соломы культур 2009 г., теоретический объем ресурсов соломы культур в Китае составлял 820 миллионов тонн. Благодаря демонстрации и поддержке кормления жвачных животных фуражом потребление кормовой соломы в Китае возросло с 110 миллионов тонн в 1992 г. до 211 миллионов тонн в 2009 г. В том числе объем соломы, перерабатываемой путем аммонификации и силосования, составлял приблизительно 92 миллиона тонн, или 44% общего объема фуража (МСХ (МОА, 2010)). Поддержка и применение этого метода позволяет ежегодно экономить 60 миллионов тонн корма. Также успешно повышаются производство и качество молока, при этом сокращаются затраты на корм и оплату труда и повышается эффективность селекции. Вместе с тем в соломе высоко содержание энергии и биогенных веществ. Эта технология обладает высоким потенциалом развития и применения и очень перспективна с точки зрения дальнейшего развития (Ежегодник сельского хозяйства Китая (China Husbandry Yearbook, 2006)).

vi. Барьеры на пути распространения

В Китае поддержка и применение технологии аммонификации и силосования соломы осуществляются главным образом на крупных животноводческих фермах. Основными производителями жвачных животных являются домашние хозяйства и мелкие фермы. Поскольку эти хозяйства функционируют как маломасштабные и не располагают оборудованием для аммонификации и силосования, фермеры не могут в полной мере освоить ключевые технические аспекты научных методов переработки для аммонификации и силосования соломы, поэтому дальнейшая поддержка применения этой технологии в настоящее время ограничена.

4.1.2 Смягчение последствий выбросов энтерального CH_4 путем оптимизации кормления

i. Определение технологии

Выбросы метана жвачных животных являются результатом их особой пищеварительной системы. Их желудок подразделяется на рубец, ретикулум и сычуг. Лиффорд (Lyford, 1988) сообщал, что объем рубца взрослого жвачного животного составляет приблизительно 56,9 л, как правило, занимает левую половину всей брюшной полости и на него приходится от 78% до 85% общего объема желудка (Ли (Li, 2007)). После того, как корм поступает в рубец, содержащиеся в корме

углеводы (состоящие главным образом из сырых волокон) после серии этапов брожения и разложения анаэробными микробами преобразуются в углекислый газ и водород, которые потом используются метанопродуцирующими бактериями для выработки метана как субстрата. На объем выбросов метана влияют главным образом тип корма, потребление корма, температура окружающей среды, скорость потребления корма, баланс биогенных веществ в корме для роста микробов и баланс развивающихся микроорганизмов (бактерий, простейших и грибов), которые зависят по большей части от химического состава рациона (Динг (Ding, 2007)).

Принцип технологии регулирования питания для смягчения последствий выбросов метана заключается в оптимизации соотношения концентрата и фуража в рационе путем контроля содержания в рационе сырых волокон или процесса брожения для смягчения последствий выбросов метана с обеспечением при этом обычной производительности жвачных животных без увеличения производственных затрат. Таким образом меняются характер брожения в рубце или популяции микробов в рубце (таких как метанопродуцирующие бактерии, инфузории) и показатели pH для смягчения последствий выбросов метана. Сегодня регулирование питания – это один из наиболее целесообразных методов смягчения последствий выбросов метана, и в настоящее время ведутся масштабные исследования, направленные на смягчение последствий выбросов метана путем изменения соотношения концентрата и фуража в рационе.

ii. Описание технологии

В рацион жвачных животных (главным образом крупного рогатого скота, овец, буйволов, верблюдов и т.д.) входят в основном фураж и концентрат. Фураж означает преимущественно траву и сено с содержанием сырых волокон более 18% - это чаще всего кукурузные стебли, люцерны и силос. Фураж обеспечивает животных сырыми волокнами, которые играют важнейшую роль в поддержании нормального брожения в рубце, снабжая тело энергией и поддерживая нормальную микробную флору, а также содействуя выработке молочного жира дойными коровами. Вместе с тем концентраты обеспечивают животных главным образом белком, жиром, минералами и витаминами. Поэтому жвачным животным необходимы и фураж, и концентраты. Более того, соотношение концентрата и фуража в рационе существенно влияет на показатели роста животного, функцию брожения в рубце, выбросы метана и состояние здоровья животных.

Как правило, когда доля фуражного корма выше, размножаются целлюлозоразрушающие бактерии и в рубце преобладает уксуснокислое брожение с выработкой большого объема водорода. Как следствие, повышается парциальное давление водорода, что стимулирует массивное размножение метанопродуцирующих бактерий с увеличением выбросов метана. Когда животных кормят растворимыми углеводами или крахмалом, то есть увеличивается доля концентрата в рационе, показатели pH в рубце снижаются, что сдерживает рост метанопродуцирующих бактерий и инфузорий, при этом увеличивается выработка пропионовой кислоты (Демейер и Хендерикс (Demeyer and Henderickx, 1967)). Поскольку при пропионовокислом брожении поглощается водород, что снижает уровень сырья, необходимого для образования метана, выбросы метана уменьшаются. Соответствующее увеличение доли концентрата в рационе жвачных животных

может увеличить долю пропионовой кислоты в рубце, сокращая при этом содержание уксусной кислоты и повышая эффективность использования корма и производительность животных. Пропионовая кислота главным образом преобразуется в состав тела печени, а потом она снабжает животное энергией для размножения, роста, выработки молока и производства мяса. Между выбросами метана и выработкой пропионовой кислоты существует обратная функциональная зависимость (Черч (Church, 1979)). Следовательно, контроль соотношения концентрата и фуража позволяет не только сократить объем выбросов метана, но и повысить производительность жвачных животных.

iii. Преимущества и недостатки

Метан, образующийся при брожении в рубце – это неизбежный побочный продукт, который невозможно устранить в полном объеме. У контроля соотношения концентрата и фуража в повседневном рационе жвачных животных для смягчения последствий выбросов метана имеются определенные преимущества и недостатки.

Преимущества аммонификации соломы

1. Сокращение объемов метана не связано с дополнительными затратами.
2. Возможно согласованное сокращение объемов метана и повышение производительности.
3. Технология применима в любой животноводческой системе путем оптимизации кормления животных.

Недостатки аммонификации соломы

1. Ненадлежащее соотношение концентрата и фуража может привести к неправильному брожению в рубце и увеличению объема образующегося CH_4 .
2. Для получения оптимальных возможных результатов оптимизации кормления требуется технический специалист.
3. Характеристики фуража и концентрата должны отслеживаться.

iv. Экономические аспекты и потенциал снижения выбросов

Методы оптимизации кормления обладают существенным потенциалом улучшения производительности животных, например, удельного выхода продукции, и смягчения последствий выбросов метана. Многие экспериментальные испытания показали, что при усовершенствовании технологии кормления сокращаются выбросы метана на голову скота (Ю (You, 2007); На (Na, 2010)).

По имеющимся сведениям, при увеличении суточной выработки молока с 25 кг до 30 кг выбросы метана на единицу молочной продукции сокращаются на 10% (Янг (Yang, 2000)). Когда среднесуточный прирост массы увеличивается с 0,65 кг до 0,8 кг, выбросы метана на единицу

прироста массы сокращаются на 14%. Согласно исследованиям, проведенным На (Na, 2010), когда надой молока дойной коровы возрастают с 11 кг до 13 кг, выбросы метана на единицу молочной продукции уменьшаются приблизительно на 39%.

Согласно докладу Шийо (Shiyo, 2000), регрессионное соотношение молока 4%-ной жирности (FCM), надоев (Y) и предложения зерна (X) выражается уравнением $Y = 1,962X + 3,492$. Это означает, что при потреблении каждого дополнительного 1 кг зернового корма выработка молока может увеличиться на 2 кг. Кроме того, регрессионное соотношение выработки метана на единицу FCM и предложения зерна выражалось как $Y = -2,546X + 46,442$. Это также указывает на то, что при потреблении каждого дополнительного 1 кг зернового корма выбросы метана в расчете на 1 кг FCM можно сократить приблизительно на 2,5 литра.

Для анализа экономических выгод смягчения последствий выбросов метана жвачных животных за счет изменения соотношения концентрата и фуража рассматривается ситуационное исследование На (Na, 2010), которое проводится на небольшой (30 коров) молочной ферме. В этом исследовании в качестве подопытных животных было отобрано 12 здоровых дойных коров голштинской породы в Китае, средний вес которых составлял 525 ± 40 кг. Для групп животных были случайным образом определены три разных рациона (рационы А, В и С) с разными видами фуража и разным соотношением концентрата и фуража (СКФ). СКФ на основе сухого вещества (СВ) в рационах А и В составляло 40:60, СКФ в рационе С – 60:40. В рационе А фуражной составляющей были кукурузные стебли. Фуражным компонентом в рационах В и С служил кукурузный силос. В каждом режиме питания животных ежедневно кормили установленным количеством корма в составе $5,33 \pm 0,05$ кг, $4,83 \pm 0,26$ кг и $7,63 \pm 0,29$ кг на голову⁻¹ в сутки⁻¹ концентрата и $8,10 \pm 0,07$ кг, $27,75 \pm 0,07$ кг и $18,58 \pm 0,28$ кг на голову⁻¹ в сутки⁻¹ фуража, соответственно, в рационах А, В и С. Концентрат поставлялся два раза в сутки, а фураж поставлялся три раза в сутки. У коров имелся свободный доступ к питьевой воде, которую они могли пить в любое время, и их доили два раза в сутки. Результаты показывают, что образование метана в рационах А, В и С составляло, соответственно, 353, 283, 263 кг на голову⁻¹ в сутки⁻¹. Рацион А значительно отличался от рационов В и С ($p = 0,05$), тогда как рационы В и С существенно друг от друга не отличались ($p = 0,05$). Надой молока при этих трех режимах питания составлял, соответственно, 10,73, 12,56, 12,97 кг на голову⁻¹ в сутки⁻¹. Выработка молока при рационах В и С увеличилась, соответственно, на 17,05% и 20,88% по сравнению с рационом А. Выработка молока при рационе С возросла на 3,26% по сравнению с рационом В без каких-либо отклонений в брожении в рубце. Анализ указанных экономических выгод представлен в таблице 4.1.

Таблица 4.1 Анализ затрат на сокращение выбросов метана коровами при трех рационах питания

Наименование	Режим			Примечания
	Рацион А	Рацион В	Рацион С	
Количество концентрата (кг сут. ⁻¹ гол. ⁻¹)	5,33	4,83	7,63	Затраты на оплату труда, воду и электро-энергию
Цена на концентрат (юаней/кг)	2	2	2	
Стоимость концентрата (юаней сут. ⁻¹ гол. ⁻¹)	10,66	9,66	15,26	
Количество фуража (кг сут. ⁻¹ гол. ⁻¹)	8,10	27,75	18,58	
Цена на фураж (юаней/кг)	0,6	0,9	0,9	
Стоимость фуража (юаней сут. ⁻¹ гол. ⁻¹)	4,86	24,98	16,72	
Прочие затраты (юаней сут. ⁻¹ гол. ⁻¹)	20	10	10	
Затраты на 1 голову (юаней/гол.)	35,52	44,64	41,98	
Выработка молока (кг/сут. ⁻¹ гол. ⁻¹)	10,73	12,56	12,97	
Цена на молоко (юаней/кг)	4	4	4	
Выгода от молока (юаней/сут.)	42,92	50,24	51,88	
Прибыль на 1 голову (юаней/сут.)	7,4	5,6	9,9	
Выбросы CH ₄ (л сут. ⁻¹ гол. ⁻¹)	353	283	263	
Выбросы CH ₄ в расчете на выработку молока (л/кг)	32,90	22,53	20,28	

Источник: На (Na, 2010).

В таблице 4.1 показано, что, поскольку в рационе А необходимо измельчать кукурузные стебли, затраты на оплату труда этого рациона выше, чем двух других рационов. При рационе С суточная прибыль в расчете на 1 корову в сутки на 4,3 юаня больше, чем при рационе В, при этом выбросы метана на 7% ниже. Образование метана в расчете на каждый килограмм молока уменьшается при увеличении доли концентрата в рационе.

v. Примеры/места, в которых в настоящее время это практикуется

Ряд исследований показывает, что изменение соотношения концентрата и фуража для смягчения последствий выбросов метана жвачных животных технически целесообразно. Фэн (Fan, 2006) показал, что отношение образования метана мясного скота, который кормят концентратом и фуражом в разном соотношении, к образованию метана в кишечном тракте мясного скота составляет 0:100>25:75>50:50. Хан и др. (Han et al., 1997) проводили испытания в отношении выбросов метана молодого крупного рогатого скота, который кормили концентратом и фуражом в соотношении 0:100, 25:75, 50:50, 75:25. Выбросы метана молодого крупного рогатого скота составляли, соответственно, 208 л/сут., 201 л/сут., 194 л/сут. и 171 л/сут. Сун и др. (Sun et al., 2008) также установили аналогичные результаты образования метана коров голштинской

породы, в рационе которых соотношение концентрата и фуража значительно варьировалось. Выбросы метана скота с разным соотношением концентрата и фуража в рационе составляли: 70:30>60:40>20:80>30:70>40:60>50:50. Эти результаты, которые приводятся в работе Сун и др. (Sun et al., 2008), указывают на то, что оптимальная процентная доля концентрата в рационе – 40%-50% и что, если процентная доля концентрата превышает 60%, повышается концентрация пропионовой кислоты в рубце, однако такой рацион может вызвать диспептический синдром. Однако, если процентная доля концентрата меньше 30%, повышается концентрация уксусной кислоты в рубце, что ведет к увеличению выбросов метана.

vi. Барьеры на пути распространения

Содействие смягчению последствий выбросов метана путем изменения соотношения мелкого корма и фуража в ежедневном рационе связано с рядом ограничений. Во-первых, отношение концентрата к фуражу в ежедневном рационе обозначает отношение содержащегося сухого вещества, а фактическое потребление корма животными может не соответствовать рассчитанному соотношению. Во-вторых, кукурузные стебли не обладают привлекательным вкусом для животных, поэтому необходимы их обработка аммиаком или процесс силосования, и должна существовать процедура внедрения этой технологии. В-третьих, выбросы метана могут увеличиться, если процентная доля концентрата в рационе выходит за рамки целесообразного диапазона (40%-50%) (Сун и др. (Sun et al., 2008)). Кроме того, руководители хозяйств не видят непосредственных выгод смягчения последствий выбросов метана. Поэтому необходимо изучать возможность применения новых финансовых механизмов по конвенциям о климате для поощрения применения оптимизации кормления для смягчения последствий выбросов метана.

4.2 Долговременные структурные преобразования, изменения в управлении и селекция животных

4.2.1 Выведение генетически модифицированных бактерий рубца, производящих меньше метана

i. Определение технологии

Оптимизация синтеза или метаболизма микроорганизмов, связанных с синтезом метана, путем применения современных молекулярных биотехнологий для получения генетически модифицированных микроорганизмов. После этого генетически модифицированные микроорганизмы вновь помещают в экосистему рубца для создания относительно стабильной микробиоты, которая может заменить первоначальный метаногенез или конкурировать с ним, с целью сокращения синтеза метана в рубце.

ii. Описание технологии

Основную часть выбросов метана жвачными животными синтезируют метанопродуцирующие археи в рубце. Метанопродуценты используют для синтеза метана главным образом углекислый газ и водород. Источником углекислого газа и водорода и прочих моноуглеродных соединений, необходимых метанопродуцентам, служат простейшие и прочие микробы, участвующие в

разложении целлюлозы и метаболизме глюкозы. Таким образом, процесс синтеза метана связан со сложными симбиотическими отношениями рубцовых микробов, и ненадлежащие манипуляции могут нарушить метаболический гомеостаз в рубце. Однако развитие современных молекулярных биотехнологий и генноинженерных технологий дает прекрасную возможность улучшить микробиоту рубца для оптимального смягчения последствий выбросов метана.

В части процесса разложения корма и синтеза метана между реализацией цели смягчения последствий выбросов метана и применением развивающихся генетически модифицированных микроорганизмов, возможно, существуют определенные связи. Во-первых, одним из важных факторов, влияющих на синтез метана в рубце, является перевариваемость. Для фуража характерно высокое содержание целлюлозы, полуцеллюлозы и лингина, их полное разложение затруднено, и поэтому они прямо связаны с выбросами метана. Путем применения методов мутагенной селекции и трансгенных технологий можно включать в микробные геномы высокоэффективные экзогенные гены, а потом непосредственно высокоэффективные разлагающие ферменты в рубец. Как следствие, усилятся целлюлозоразрушающие бактерии, способные лучше разлагать прочные углеродные структуры в фураже, результатом чего станет высокая эффективная перевариваемость корма и энергопотребление. Поскольку из такого же объема корма извлекается больше энергии и повышается производительность животных, выбросы метана в расчете на единицу продукции сокращаются.

Реакция углекислого газа и водорода, в результате которой образуется метан, является ключевым этапом уменьшения парциального давления водорода в рубце, поэтому нахождение нового конкурента водорода или пути окисления метана позволит уменьшить выработку метана. Например, ацетогены также могут использовать водород в качестве субстрата, и установлено, что они являются доминирующими в рубце кенгуру. Если посредством генетически модифицированной технологии отобрать ацетогены, способные вытеснить метанопроducers в части потребления водорода, и создать из них стабильную микрофлору в рубце, жвачные животные будут вырабатывать меньше метана. Еще одним возможным решением этой проблемы является окисление метана. Метанотропные бактерии окисляют метан до углекислого газа, после чего широко заселяют различные среды. Путем модификации генов можно получить бактерии, обладающие высокой эффективностью окисления метана. После помещения этих бактерий в рубец и создания в нем стабильной микрофлоры метан будет использоваться для образования углекислого газа, не влияя на брожение в рубце.

iii. Преимущества и недостатки

1. Повышение перевариваемости, улучшение брожения, эффективность использования энергии корма и показателей животных.
2. Метанопроducers и прочие микроорганизмы образуют симбиотические связи и приносят друг другу взаимную выгоду (Тъель и др. (Thiele et al., 1988), Жоблен (Joblin et al., 1989)), поэтому введение генетически модифицированных микробов благотворно влияет на гомеостаз микробного многообразия и сложность симбиотических связей в рубце без каких-либо побочных последствий для экосистем рубца.

3. Опробовано множество методов смягчения последствий выбросов метана, в частности проводились исследования в отношении приготовления кормов, вакцин и добавок (Хан и др. (Han et al, 1997); Бошмен и др. (Beauchemin et al, 2005); Иветт и др. (Yvette et al, 2009); Райт и др. (Wright et al, 2004); Макмюллер и др. (Machmüller et al, 2001); Анимю и др. (Animut et al, 2007)).
4. Хотя химические ингибиторы и антибиотики сокращают синтез метана, их применение на долгосрочной основе ведет к появлению остатков органических веществ и антибиотиков в мясе и молоке и ухудшению состояния здоровья животных. Однако генетическая модификация микроорганизмов в рубце позволяет устранить все вышеуказанные негативные последствия и достигнуть смягчения последствий выбросов метана исходя из гарантии продовольственной безопасности.

Недостатки

Несмотря на преимущества генетической модификации микроорганизмов рубца с точки зрения смягчения последствий выбросов метана в рубце, сохраняется ряд связанных с этим проблем и технических препятствий.

1. Основную часть микроорганизмов в рубце трудно изолировать и культивировать. Мутагенный скрининг и генетическая модификация требуют наличия дополнительной информации о механизме и экологических функциях микробного метаболизма и по-прежнему находятся на этапе испытаний.
2. Соответствующие отчеты указывают на наличие технических препятствий на пути внедрения генетически модифицированных линий в экосистему рубца, а также создания стабильной микрофлоры и стабильных симбиотических связей (Уоллас и др. (Wallace et al., 1994); Котта и др. (Cotta et al., 1997)), МакСуини и др. (McSweeney et al., 1994)).

iv. Экономические аспекты и потенциал снижения выбросов

Генетическая модификация организмов рубца – это задача инженерии систем, касающаяся питания, молекулярной биологии, физиологии, генетики, микробиологии, биохимии и так далее. Хотя эта область только начала развиваться, данная технология выделила перспективы смягчения последствий выбросов метана жвачными животными. Поскольку научные исследования в области генетической модификации микроорганизмов рубца основываются на принципах генетики, теоретически эта модификация должна быть наследственной, что является наибольшим преимуществом этой технологии. Когда эта технология найдет практическое применение, жвачные животные не только сократят выбросы метана, но и смогут постоянно передавать способность смягчения последствий выбросов метана потомству. По сравнению с другими технологиями эта технология теоретически может раз и навсегда изменить проблему выбросов метана жвачными животными. Если это произойдет, это позволит значительно сократить производственные затраты и принесет существенные экономические выгоды, потому что отпадет необходимость в дополнительных расходах на поддержание на долговременной основе смягчения последствий выбросов метана.

v. Примеры/места, в которых в настоящее время это практикуется

В настоящее время выбросы метана жвачных животных находятся в центре внимания и вызывают широкую озабоченность. По имеющимся данным, общие выбросы метана крупного рогатого скота и овец в мире эквивалентны $140,8 \times 10^6$ тонн CO_2 е, что оказывает серьезное влияние на атмосферную среду (Агентство по охране окружающей среды (Environmental Protection Agency, 2010)). Сегодня научные исследования в области смягчения последствий выбросов метана жвачных животных стали передовой наукой. По сравнению с другими подходами генетическая модификация организмов рубца началась позднее, и еще существует ряд проблем, требующих решения. Последнее десятилетие ученые сосредоточены на поиске целесообразных носителей модификаций и метаболическом регулировании микроорганизмов. На сегодняшний день имеется ряд перспективных с точки зрения применения результатов исследований. Проведен ряд исследований в области классификации и метаболизма ацетогенов, и найдено несколько видов особых ацетогенов (Шинк и др. (Shink et al., 1994); Брезнак и др. (Breznak et al., 1994 and 1995); Дрейк и др. (Drake et al., 2002)). Эти ацетогены могут конкурировать с метанопродуцентами за водород (Жоблен и др. (Joblin et al., 1996 and 1999)). Результаты экспериментов указывают на то, что внедрение ацетогенов в рубец лабораторной овцы

позволяет получить сравнительно удовлетворительные экспериментальные результаты. Исходя из допущения о том, что потребление корма и синтез летучих жирных кислот (ЛЖК) овцы остаются неизменными, доказано, что ацетогены могут заменить метанопродуценты в качестве метаболических акцепторов водорода в рубце и обладают потенциалом смягчения последствий выбросов метана (Фонти и др. (Fonty et al., 2007)). При выборе для генетической модификации других микроорганизмов рубца, таких как *Veillonella parvula* и *Megasphaera elsdenii*, продуктами их брожения с большей вероятностью будет пропионовая кислота. Таким образом, отношение уксусной кислоты к пропионовой кислоте в ЛЖК значительно снижается (Янг и др. (Yang et al., 2007); Сан и др. (Sun et al., 2010)), что указывает на уменьшение выбросов метана. В некоторых других исследованиях в области генетической модификации также выбирали *E. coli* в попытке уменьшить выбросы метана путем сокращения биогенных веществ (Сар и др. (Sar et al., 2005a and 2005b and 2005c)). В целом, геновая инженерия микроорганизмов рубца для достижения смягчения последствий выбросов метана жвачными животными еще находится на начальном этапе. В настоящее время акцент по-прежнему делается на базовых исследованиях, и для фактического применения этой технологии еще предстоит проделать большой путь.

vi. Барьеры на пути распространения

В настоящее время ученые всего мира, занимающиеся смягчением последствий выбросов метана жвачных животных, сосредоточены главным образом на регулировании питания, оптимизации состава кормов и применении добавок. Исследования в области смягчения последствий выбросов метана жвачных животных путем генетической модификации в настоящее время только начинаются. Эта технология, сложная в применении, требующая чрезвычайно крупных инвестиций на начальном этапе и длительных исследований, требует многоотраслевого сотрудничества. Все эти факторы в совокупности ограничивают развитие генетической модификации микроорганизмов для смягчения последствий выбросов метана.

5. Управление навозом и твердыми биологическими веществами

5.1 Усовершенствованное хранение и обращение

5.1.1 Покрытие навозохранилищ для смягчения последствий выбросов ПГ

i. Определение технологии

Покрытие навоза – это практика покрытия поверхности навоза материалами определенной толщины вместо традиционного метода накопления навоза, контактирующего с воздухом. Покрытие навоза меняет площадь поверхности навоза, контактирующей с воздухом. По ряду причин, то есть в силу серии физических, биологических и химических реакций таким образом сокращаются выбросы ПГ.

ii. Описание технологии

Покрытие навоза материалами определенной толщины (например, полимерной пленкой, органическим веществом и керамзитом) меняет поверхность навоза, контактирующую с воздухом. Этот метод позволяет сократить выбросы ПГ и сохранять биогенные вещества в навозе.

В целом различают непроницаемые и проницаемые покрытия. Непроницаемые покрытия не позволяют газам, образуемым навозом, поступать в атмосферу. Проницаемые покрытия допускают попадание некоторых газов. К непроницаемым покрытиям обычно относятся солома, геоткань, керамзит, кукурузные стебли и т.д. К числу непроницаемых покрытий относятся плавучая пластмасса, подвешенная пластмасса, бетон и т.д. Непроницаемые покрытия дают возможность собирать и использовать метан для производства топлива и энергии. Хорошим примером навозохранилища с непроницаемым покрытием служит покрытая лагуна. Это большая анаэробная лагуна, позволяющая постоянно готовить навоз, уменьшать запах и поставлять богатые биогенными веществами стоки для их применения на полях и к культурам. Сокращаются патогенные организмы и семена сорняков, и может производиться биогаз для использования в хозяйстве.

Достижимое в результате смягчения последствий выбросов ПГ разнится в зависимости от материалов, используемых в качестве покрытия, и метода покрытия. Принципы смягчения последствий выбросов также разнятся. Например, непроницаемые материалы, такие как листы пластмассы, изолируют навоз от внешней среды, предотвращая таким образом попадание летучих газов в атмосферный воздух. Кроме того, в навозе создается анаэробная среда. Поскольку первым этапом образования N_2O является реакция анаэробной нитрификации

аммиачного азота, внедрение технологии покрытия навоза предотвращает контактирование с кислородом. За счет прекращения этой первой реакции снижаются выбросы N_2O .

Такие факторы как температура, содержание влаги и pH навоза также оказывают значительное влияние на смягчения последствий выбросов в результате применения технологий покрытия емкостей. Содержание влаги в навозе сильно влияет на образование CH_4 . Когда содержание влаги высоко, доминирует анаэробное брожение, при этом образуется больше CH_4 и вырабатывается меньше CO_2 . Когда содержание влаги является низким, доминирует аэробное брожение, при этом образуется CH_4 как основной ферментационный продукт и практически не образуется CO_2 . Содержание влаги также влияет на нитрификацию и денитрификацию навоза. Ни чрезвычайно высокая, ни низкая проницаемость не способствуют образованию N_2O в процессах нитрификации и денитрификации. Поэтому в обоих случаях очень низкого содержания влаги в навозе животных и длительного погружения под воду выбросы N_2O очень низки. Однако понижение и повышение влажности навоза способствует образованию и выбросам N_2O . Целесообразная среда pH разнится в зависимости от микроорганизмов. В этом смысле корректировка значения pH жидкого навоза для оказания влияния на процесс биохимической реакции, а затем смягчения последствий выбросов ПГ является еще одним способом смягчения последствий выбросов.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества покрытия навоза

1. Преимуществами являются низкие затраты, простота эксплуатации и легкость внедрения.
2. Широко применяемые материалы, такие как солома, керамзит, тонкая пленка и т.д., малозатратны и легкодоступны. Это позволяет животноводческим хозяйствам легко и беспрепятственно менять метод хранения навоза.

Недостатки покрытия навоза

1. Покрытие и уплотнение навоза создает в навозе анаэробную среду, в результате чего увеличиваются выбросы метана, хотя образование закиси азота сдерживается, то есть это случай замещения одной формы загрязняющего вещества другой (Монтени (Monteny, 2006)).
2. На потенциал смягчения последствий выбросов в большой степени влияют характеристики навоза, температура и прочие факторы, понимание которых в настоящее время ограничено. Для твердого и жидкого навоза следует выбирать разные материалы в качестве покрытия. Многие экспериментальные результаты указывают на то, что покрытие жидкого навоза органическими веществами, в частности соломой, не сокращает выбросы метана, а значительно увеличивает их за счет увеличения объема вырабатываемого метана при анаэробном брожении соломы. Для адаптации к отличиям в типах климата (температуре атмосферным осадкам), характеристиках навоза и материалах, используемых в качестве покрытия, следует проводить эксперименты для анализа и опробования потенциала

различных сочетаний этих параметров с точки зрения смягчения последствий выбросов парниковых газов.

iv. Экономические аспекты и потенциал снижения выбросов

Чедвик (Chadwick, 2005) проводил эксперимент по анализу влияния уплотнения и методов покрытия навоза крупного рогатого скота на выбросы ПГ. Результаты эксперимента показали, что уплотнение и покрытие полиэтиленовой пленкой сокращают выбросы аммиака и N_2O навозом, соответственно, на 90% и 30%. Однако уплотнение и покрытие создавали в навозе анаэробную среду, что увеличивало объем выбросов метана (Чедвик (Chadwick, 2005)).

Помимо этого, объем выбросов NH_4 и CH_4 успешно сокращается при уменьшении площади поверхности навозной кучи и своевременной перевозке навоза в закрытый накопитель (Вайске и др. (Weiske et al., 2006)).

Как правило, испарительный перенос аммиака можно сократить, а запах предотвратить путем покрытия жидкого навоза соломой, что также может увеличить выбросы метана. Берг (Berg, 2006) достиг смягчения последствий выбросов ПГ путем применения соломенного покрытия в сочетании с методом кислотной обработки. Результаты эксперимента показали, что выбросы метана сокращаются на 40% при корректировке значения pH жидкого навоза до уровня ниже 6 при обработке навоза молочной кислотой в комплексе с покрытием навоза соломой.

Во время хранения навоз естественным образом покрывается жесткой коркой, что предотвращает утечку аммиака, вырабатываемого навозом. Эксперимент, проведенный Смитом и др. (Smith et al., 2007), показал, что выбросы аммиака навозом с естественным образом сформированной коркой сокращаются на более чем 60% по сравнению с выбросами аммиака навозом без корки. Помимо замедления высвобождения аммиака, жесткая корка на навозной жиже также сокращает выбросы метана. Сорен (Søren, 2006) доказал, что в жесткой корке навозной жижи содержатся метаноокисляющие бактерии, которые окисляют метан до CO_2 – таким образом достигается смягчение последствий выбросов, потому что метан является более сильным парниковым газом, чем CO_2 . Когда концентрация метана составляет 500–50 000 ppmv, смягчение последствий выбросов метаноокисляющими бактериями составляет $-1\sim-4,5\text{ gCH}_4\text{ м}^{-2}\text{ сут}^{-1}$ (Сорен (Søren, 2006)).

Проницаемые покрытия менее дорогостоящи, чем непроницаемые покрытия, но они не столь долговечны и не так эффективно сокращают выбросы запахов и газов. Однако они уменьшают запах и сокращают выбросы аммиака и сероводорода навозохранилищами. Для строительства проницаемых покрытий с разными результатами применяется широкий спектр органических и искусственных материалов. Затраты разнятся от 1,10 долл. США до 18,80 долл. США на 1 м² установленного покрытия. Показанная на рисунке 5.1 солома – это наименее затратный материал для проницаемого покрытия, средняя стоимость которого составляет 1,10 долл. США за 1 м² установленного покрытия. Стоимость с учетом монтажа более долговечных материалов, таких как

керамзит, показанный на рисунке 5.2, может превышать 10,80 долл. США за 1 м² установленного покрытия (Бернс (Burns, 2008)). Непроницаемое покрытие может стоить 21,50 долл. США за 1 м² установленного покрытия (Пауэрс (Powers, 2006)).

В случае использования непроницаемых покрывающих материалов прекращается массообмен навоза с внешней средой. При этом в навозе создается анаэробная среда, что способствует образованию метана. Тогда можно монтировать газосборные установки для улавливания метана для приготовления пищи и отопления. Помимо этого, использование покрывающих материалов позволяет успешно предотвращать выбросы азотосодержащих газов, таких как аммиак, чем обеспечивается удержание в навозе биогенных веществ. После периода хранения его можно использовать на сельскохозяйственных угодьях в качестве органического удобрения.

v. Места, в которых в настоящее время практикуется

До настоящего времени проведены исследования в отношении технологии покрытия навозохранилищ, дающие результаты в части материалов покрытия, внешней температуры и состава навоза (Берг и др. (Berg et al., 2006)). В Китае проведен ряд экспериментов, в которых использовались солома и керамзит для покрытия навоза коров (Лу (Lu, 2007)) и сточных вод свиноферм (Ли (Li, 2008)). На практике, однако, в связи с ограниченной площадью хозяйств и нехваткой навозохранилищ навоз сбрасывается напрямую, перерабатывается биогазовыми установками и используется на сельскохозяйственных угодьях.

В развитых странах действуют очень жесткие нормы в отношении обращения с навозом животных и выбросов запаха. Имеются необходимые хранилища, навоз хранится, и существует большое число аккумулирующих бассейнов на животноводческих фермах, а потеря биогенных веществ в навозе предотвращается и выбросы запаха контролируются принятием масштабных мер по покрытию навоза.

vi. Барьеры на пути распространения

Хотя непроницаемые материалы, такие как бетон и тонкая пленка, сравнительно стабильны и долговечны, высокие начальные инвестиции являются барьером на пути их широкого внедрения. С другой стороны, хотя проницаемые материалы, используемые в качестве покрытия, такие как солома, дешевы, они нестабильны и для них характерен короткий срок полезной службы, из-за чего их использование кажется бесперспективным и, следовательно, также препятствует их внедрению. Более того, некоторые материалы, используемые в качестве покрытия, в частности солома, разлагаются при вступлении в контакт с навозной жидкостью и после этого сами становятся источником выбросов.

Рисунок 5.1 Проницаемое соломенное покрытие



Источник: Берн (Burn R. 2008).

Рисунок 5.2 Керамзитовое покрытие (LECA) на бетонном навозохранилище



Источник: Берн Р. (Burn R. 2008).

5.1.2 Биопокрытия на полигонах для отходов

і. Определение технологии

Недорогостоящим способом сокращения активных, с точки зрения парниковых газов, выбросов метана существующих полигонов для твердых бытовых отходов (ТБО) является использование процесса естественного микробного окисления метана за счет усовершенствованной конструкции покрытия полигонов. Покрытие полигона для отходов, оптимизирующее условия окружающей среды для метанотропных бактерий и увеличивающие биотическое потребление метана,

часто называется «биопокрытием» и функционирует как огромный биофильтр. Биопокрытие, как правило, покрывает всю площадь полигона. Часто это отходы, например, различные виды компоста, прошедшие механико-биологическую обработку отходы, обезвоженный шлам сточных вод и садово-огородные отходы.

Окисление метана в компостном материале обладает высоким окислительным потенциалом. Манипуляции с покрытием для полигонов для максимизации его окислительного потенциала служат перспективной дополнительной стратегией контроля выбросов метана.

ii. Описание технологии

Простые, но хорошо спроектированные биопокрытия позволяют снизить выбросы метана полигонами для отходов. Для вызревшего компоста характерно более высокое микробное потребление метана, чем для традиционного полигона для отходов, что, скорее всего, связано с содержанием биогенных веществ в компосте или изменением микробиальной экологии. Наблюдаемое позитивное действие биопокрытий, как представляется, в большой степени обеспечивается физическими свойствами, такими как повышенная гигроскопичность, водоудерживающая способность и термоизоляционные свойства компоста.

Для климатических условий Центральной Европы минимальная рекомендуемая толщина верхнего компостного покрытия для смягчения последствий выбросов метана полигона для отходов биореактора составляет 1,2 м (Хьюбер-Хьюмер и др. (Huber-Humer et al., 2008)). Боньер и др. (Bogner et al., 2005) пытался определить проект минимального биопокрытия из переработанных материалов, способного снизить выбросы метана в условиях субтропиков.

Действие биопокрытия и его долгосрочная стойкость и биологически активный срок полезной службы сокращают выбросы метана полигонов для ТБО. Однако на роль компостного покрытия в смягчении последствий выбросов метана могут влиять температура, влажность, расход газа и соотношение газов.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

1. Оптимизированные и хорошо адаптированные биопокрытия относительно менее дорогостоящи в части их эксплуатации и монтажа по сравнению с традиционной газосборной системой, затраты на которую могут быть высокими по сравнению со стоимостью улавливаемого топлива.
2. В отношении таких биопокрытий действуют сравнительно низкие требования к их техническому обслуживанию, и они могут обслуживаться относительно неподготовленным человеком. Таким образом, они применимы как в странах с высокими доходами, так и в странах с низкими доходами.

Недостатки

1. Биопокрытия необходимо проектировать и модифицировать исходя из местных условий конкретного полигона для отходов.
2. В отсеках полигона для отходов должен обеспечиваться однородный поток газа и особые свойства материала покрытия, которые требуют значительных дополнительных научных исследований и опытно-конструкторских разработок.
3. В связи со смещением вниз окисляющего слоя метана слои засоряются образуемой микробами биомассой, поэтому требуются большие трудозатраты для расчистки основного галечникового покрова отсека. Однако расчистку основного галечникового покрова отсека могут осуществлять относительно неподготовленные лица.

iv. Экономические аспекты и потенциал снижения выбросов

Сценарии дальнейших выбросов CH_4 указывают на увеличение доли ТБО и угольного метана (УМ) – в этом случае технологии смягчения последствий выбросов метана обладают высоким потенциалом проникновения.

v. Примеры/места, в которых в настоящее время это практикуется

Полигоны для отходов существуют во всем мире. Хотя, вероятно, наиболее широко в качестве покрытия для полигонов для отходов используется почва, поиск в Google выдает многочисленные сообщения о том, что проводятся испытания для определения оптимальных способов использования на отдельных объектах биопокровов для смягчения последствий выбросов ПГ.

vi. Барьеры на пути распространения

Требуются масштабные исследования с учетом специфики конкретных объектов для определения наличия материалов, которые целесообразно использовать, толщины применяемого материала, его долговечности и так далее.

5.2 Анаэробное разложение сельскохозяйственных отходов

5.2.1 Тенки для биогаза бытового назначения с улавливанием и утилизацией CH_4

i. Определение технологии

Биогаз – это легковоспламеняющийся газ, образуемый органическими материалами после разложения и брожения анаэробными бактериями в плотно закрытых экологических тенках в условиях определенной температуры, влажности, кислотности и щелочности. Процесс разложения биогазовыми бактериями органических материалов для образования биогаза называется «биогазовым брожением». Тенки для биогаза на основе навоза – это ферментационные тенки, которые применяются для обработки навоза животных, в том числе фекалий, путем анаэробной

ферментации. Концентрация метана в биогазе составляет около 60%, поэтому улавливание и утилизация биогаза из сброженного шлама в тенке для биогаза сокращает выбросы CH_4 лишь в виде улетучивающихся выбросов CH_4 из навоза. Помимо этого, биогаз можно использовать для снабжения электроэнергией и тепловой энергией и смягчения последствий выбросов CO_2 ископаемыми видами топлива (углем), перемещенными биогазом.

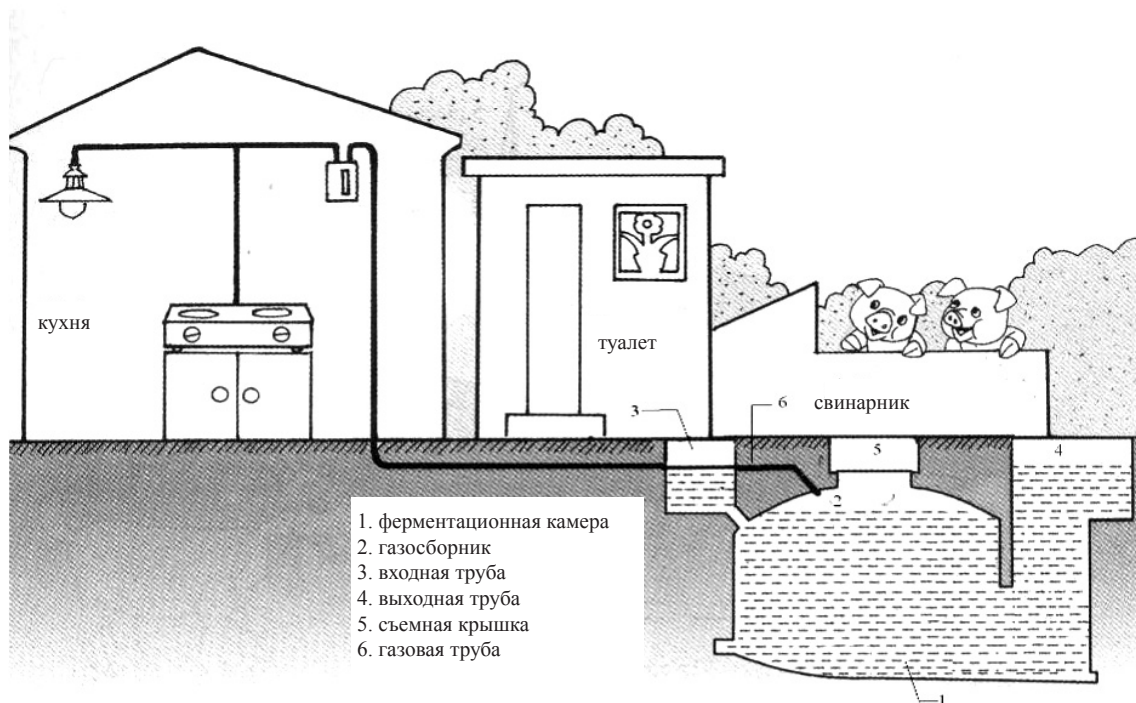
ii. Описание технологии

Тенк для биогаза состоит из шести частей: ферментационной камеры, газосборника, впускной трубы, выпускной камеры, съемной или герметичной крышки и газовой трубы (см. рисунок 5.3).

Принцип производства биогаза можно охарактеризовать следующим образом:

- Улавливаемый газ хранится в верхней части тенка (газосборнике), спроектированной в форме арки. Производство биогаза постепенно повышает давление в зоне газосборника. Когда объем улавливаемого газа превышает объем потребления, давление в газосборнике повышается и шлам проталкивается в выпускную камеру. Если объем потребляемого газа превышает объем газа в наличии, уровень шлама падает и сброженный шлам перетекает обратно в ферментационную камеру.
- Местонахождение тенка (подземное брожение) позволяет поддерживать сравнительно стабильную температуру в тенке, обеспечивая сбраживание шлама при соответствующих температурах круглый год без дополнительного отопления.
- Дно тенка имеет наклон от впускного отверстия, через которое осуществляется подача материала, к выпускному отверстию для материала, что делает возможным свободное перемещение шлама.
- Тенк спроектирован таким образом, чтобы стоки можно было удалять без нарушения газонепроницаемого затвора путем извлечения жидких стоков через выпускную камеру.

Рисунок 5.3 Схема тенка для биогаза бытового назначения в комплектации «три в одном»



Источник: Управление науки, образования Министерства сельского хозяйства Китая, 2003 г.

Как указано в разделе «Определение технологии» выше, биогазовое брожение представляет собой процесс разложения определенными бактериями органических веществ для производства метана. Для нормального биогазового брожения и довольно высокого выхода газа необходимо обеспечить базовые условия для обычной жизнедеятельности метановых бактерий (в частности их роста, развития, размножения, диссимиляции и т.д.).

Строгая анаэробная среда

Все микробы, играющие важную роль в биогазовом брожении, являются строгими анаэробами. В аэробной среде при разложении органических веществ выделяется CO_2 ; однако в анаэробной среде в результате выделяется CH_4 . Строгая анаэробная среда – это один из важнейших факторов биогазового брожения. Поэтому весьма важно, чтобы был построен плотно закрываемый герметичный тенк для биогаза (анаэробный тенк) для обеспечения строго анаэробной среды для производства искусственного биогаза и эффективного хранения газа для предотвращения его утечки и улетучивания.

Достаточное и целесообразное сырье для брожения

Достаточное сырье для биогазового брожения образует материальную базу производства биогаза. Биогенные вещества, извлекаемые бактериями из сырья – это углерод (в форме

углеводов), азот (например, содержащийся в белке, нитритах и аммиаке), неорганические соли и т.д. Углерод служит источником энергии, а азот используется в формировании клеток. Биогазовые бактерии требуют надлежащего соотношения углерода и азота (C:N).

Целесообразное соотношение углерода и азота в тенке для биогаза составляет 25~30:1. Соотношение углерода и азота меняется в случае разного сырья, и об этом необходимо помнить при выборе ассортимента сырья для тенка.

Целесообразная концентрация сухого вещества

Целесообразная концентрация сухого вещества в сырье для биогазового брожения в селах составляет 7%-9%. В пределах этого диапазона летом можно выбрать низкую концентрацию сырья, зимой предпочтительна более высокая концентрация.

Целесообразная температура брожения

Темпы биогазового брожения очень зависят от температуры сбраживающей жидкости в тенке. Температура непосредственно влияет на интенсивность сбраживания сырья и выход газа. Биогазовое брожение происходит в пределах широкого температурного диапазона (Зу Ксенфу (Ху Ксифу (Hu Xingfu, 1981))). Чем выше температура, тем интенсивнее сбраживание сырья и тем интенсивнее вырабатывается газ. Исходя из реальных условий брожения мы определили следующие три температурных диапазона для брожения:

- брожение при высокой температуре: 47°C~55°C
- брожение при средней температуре: 35°C~38°C
- брожение при нормальной температуре: температура окружающего воздуха четырех времен года.

Выбор температурного диапазона для биогазового брожения зависит от вида, источников и объемов сырья, целей переработки органических отходов и связанных с этим требований и их экономической стоимости. В большинстве тенков для газа бытового назначения происходит брожение при нормальной температуре.

Целесообразное значение pH

Значение pH сбраживающей жидкости оказывает серьезное влияние на биологическую активность биогазовых бактерий. Для нормального биогазового брожения значение pH должно составлять от 7 до 8. В ходе обычного процесса биогазового брожения в тенке в сельской местности значение pH претерпевает естественным образом сбалансированный процесс: сначала оно снижается с высокого значения до низкого значения, потом снова повышается до тех пор, пока не станет почти постоянным. Этот процесс тесно связан с динамическим балансом трех периодов биогазового брожения. После заполнения тенка для биогаза время, за которое значение pH достигает нормального уровня, зависит от температуры и видов и объемов сырья, которым заправляется тенк.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

1. Смягчение последствий выбросов ПГ за счет сокращения выбросов CH_4 , связанных с хранением навоза, и выбросов CO_2 , связанных со сжиганием угля и прочими источниками топлива на основе углерода.
2. Снижение затрат на энергию для приготовления пищи и освещения путем снабжения биогазом, который является экологически чистым видом энергии.
3. Экономия удобрений за счет применения стоков из тенков для биогаза путем замещения промышленных удобрений.
4. Улучшение местных экологических условий в сельской местности.

Недостатки

1. Средние и высокие капитальные затраты и начальные инвестиционные затраты являются основными ограничениями, связанными с установкой тенков.
2. Для строительства тенков для биогаза требуется квалифицированная и обученная рабочая сила.
3. Для оптимальной выработки биогаза требуются экскременты животных.
4. Иногда существует культурное предубеждение против использования газа, полученного из выделений организма человека.

iv. Экономические аспекты и потенциал снижения выбросов

Биогазовая технология позволяет сокращать выбросы, связанные со стойловым навозом, ее цена варьируется от 12-40 долл. США за 1 т уменьшения выбросов CO_2e . Применение биогазовой технологии для смягчения последствий выбросов ПГ становится целесообразным при наличии крупных объемов органических вводимых ресурсов по цене приблизительно 12 долл. США за 1 т уменьшения выбросов CO_2e (Вассманн и Патак (Wassmann and Pathak, 2007)).

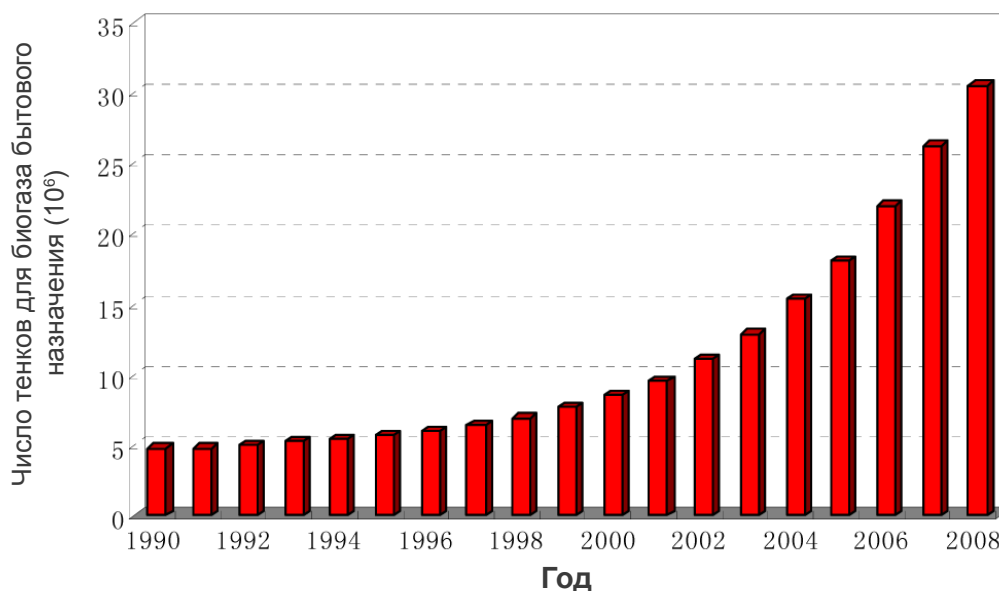
Стоимость одного тенка для биогаза бытового назначения ($8\sim 15 \text{ м}^3$) варьируется от 500 долл. США до 1 000 долл. США в зависимости от емкости тенка.

По оценкам, тенк для биогаза бытового назначения (8 м^3) позволяет перерабатывать навоз 4-6 свиней, обеспечивая выход приблизительно 385 м^3 газа ежегодно. Это позволяет экономить $847\text{--}1\,200 \text{ кг}$ угля на основе расчета эффективного теплового эквивалента. Согласно методике, рекомендованной в 2006 г. МГЭИК, при переработке тенком для биогаза бытового назначения навоза четырех свиней смягчение последствий выбросов ПГ составляет $1,5\sim 5,0$ тонн CO_2e .

v. Примеры/места, в которых в настоящее время это практикуется

На рисунке 5.4 показаны тенденции развития проектов, связанных с биогазом бытового назначения, в Китае. К концу 2008 г. общее число тенков для биогаза бытового назначения достигло 30,49 миллиона. Из рисунка видно, что в период 1990-2008 гг. число установленных тенков для биогаза бытового назначения возросло в 6,4 раза. К сожалению, в связи с ограниченными финансами большинство фермеров не могут себе позволить установку тенка для биогаза бытового назначения.

Рисунок 5.4 Число тенков для биогаза бытового назначения в период 1990-2008 гг. в Китае



Источник: оценка автора.

vi. Барьеры на пути распространения

На пути распространения тенков для биогаза существуют инвестиционные и технические барьеры.

Барьер на пути инвестиций

Стоимость каждого тенка для биогаза бытового назначения (8-16 м³) варьируется от 500 долл. США до 1 000 долл. США в зависимости от размера тенка. Для большинства сельских домашних хозяйств в развивающихся странах характерен низкий располагаемый доход и слабый финансовый потенциал для осуществления такой крупной инвестиции. Помимо этого, домашнему хозяйству необходимо и далее оплачивать стоимость содержания тенка для биогаза. Применяемая практика очистки в глубокой яме, напротив, считается намного более привлекательным вариантом переработки навоза ввиду того, что она требует очень небольших дополнительных инвестиций и трудовых затрат.

Технический барьер

Во многих случаях тенки для биогаза должны находиться в удаленных сельских районах, где фермеры лишены непосредственного доступа к усовершенствованным технологиям и методам управления. Современный опыт Китая показывает, что для некоторых тенков характерна нестабильная эффективность и разные уровни производства газа. Это обусловлено отсутствием достаточного опыта в отдельных домашних хозяйствах, ограниченными ресурсами для содержания биогаза и недостаточной подготовкой фермеров. Для обеспечения надлежащей работы тенков требуется экспертный потенциал, то есть содержание тенков для биогаза и управление ими требуют соответствующего сервисного обслуживания и подготовленного персонала, чего нет в сельских районах.

5.2.2 Обработка пожнивных остатков за пределами поля

i. Определение технологии

Обработка пожнивных остатков – это важная технология смягчения последствий выбросов, в которой используются биомасса, биогумус и т.д., перерабатываемые в аэробных условиях, которая применяется на коммерческой основе для смягчения последствий выбросов парниковых газов. Использование червей для интенсификации компостирования представляет собой видоизмененный метод компостирования, в котором используются дождевые черви для поедания и переваривания сельскохозяйственных отходов и их преобразования за два месяца и менее в высококачественный биогумус. Он отличается от других видов компоста присутствием червей, таких как дождевые черви, красные калифорнийские черви, белые черви и т.д. (Сатавик (Satavik, 2011)).

ii. Описание технологии

Большинство побочных продуктов зерновых культур, зернобобовых культур и семян масличных культур можно использовать в качестве корма и фуража для скота. Побочные продукты прочих культур, таких как хлопок, кукуруза, кайанус, клещевина, подсолнечник и сахарный тростник, используются как низкокалорийное топливо или сжигаются дотла, или их оставляют под открытым небом, чтобы они со временем разложились. Незначительные инвестиции в децентрализованное оборудование для аэробного переваривания сельскохозяйственных остатков путем использования червей для интенсификации компостирования и выработки биогаза позволяют удовлетворить потребности испытывающих дефицит энергии сельских районов.

Обработка пожнивных остатков является важной составляющей органического земледелия, способствующей сохранению углерода в ризосфере и снижающей таким образом выбросы ПГ в атмосферу. Она включает покровные бобовые культуры, выращиваемые в качестве сидерата для создания эффективного с точки зрения затрат источника азота для последующих культур. В органическом земледелии в значительной степени используются в качестве вводимых ресурсов органические остатки в виде сидерата (то есть покровные культуры), растительный компост и компостированный животный навоз, добавляемые в почву, а также комплексные биологические

методы борьбы с вредителями и сорняками, севооборот и механическая обработка почвы для поддержания и повышения производительности и плодородия почвы без использования синтетических азотных удобрений и пестицидов (таблица 5.1). Обработка пожнивных остатков также влияет на чистый прирост углерода. Удаление соломы и сухого корма для скота ведет к значительному снижению органического углерода в почве (ОУП). Если они используются в качестве подстилки для скота, тогда большой объем углерода может вернуться в почву в виде навоза (Лал и др. ((Lal et al., 1998b))).

Таблица 5.1 Оцениваемые пожнивные остатки (миллионов тонн) в Индии (2006-2007 гг.)

Пожнивные остатки	Сухой вес
Стебли хлопка	16,36
Початки кукурузы	2,72
Кайанус	6,93
Подсолнечник	2,46
Клещевина	1,41

Источник: Диксит и др. (Dixit et al., 2010).

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

1. При вводе в почву пожнивных остатков улучшаются физические свойства почвы и ее водоудерживающая способность.
2. Органические остатки и азотные удобрения повышают органический углерод в почве и впоследствии улучшают структуру и повышают агрегативную стабильность почвы. Стабилизация почвенных агрегатов защищает органические вещества в почве от микробного разложения (Сикс и др. (Six et al., 1999). Использование покровных культур и навоза в рамках управления органическими остатками ведет к накоплению органического углерода в почве путем повышения агрегирования почвы, а также за счет уменьшения необходимости применения синтетических удобрений с обеспечением при этом культур биогенными веществами в таких же объемах.
3. Добавление в почву органических остатков снижает потенциал загрязнения окружающей среды с максимизацией при этом эффективности использования азота и снабжением культур достаточным азотом.

Внесение в почву органических удобрений также приносит такие выгоды как снижение потребности в гербицидах за счет уменьшения прорастания сорняков и повышения качества почвы, что обеспечивает более благоприятную среду для фауны, благотворно влияющей на почву. Например, в органических удобрениях могут помочь средства разложения, такие как

дождевые черви. Создаваемые дождевыми червями формообразования и каналы улучшают рост корней, просачивание воды и физическую структуру почвы. Кроме того, дождевые черви стабилизируют органические вещества в почве и способствуют формированию стабильных почвенных агрегатов.

Недостатки

1. Темпы углеродно-азотной минерализации этого навоза и органических остатков сравнительно низки для извлечения азота: они варьируются от 5% до 18% общего содержания азота в случае навоза и составляют 8% в случае компоста. Таким образом, существенное повышение краткосрочного снабжения азотом требует применения органических удобрений в огромных количествах, что ведет к увеличению затрат.

iv. Экономические аспекты и потенциал снижения выбросов

В работе Щакерта (Tschakert, 2004) оценивалась эффективность с точки зрения затрат применения компоста на основе пожнивных остатков (проса) для связывания углерода почвы в маломасштабных системах богарного земледелия трех групп по обеспеченности ресурсами в бассейне Оулд Пинат (Сенегал) в течение 25-летнего периода реализации проекта (таблица 5.2).

Таблица 5.2 Анализ затрат и выгод применения компоста на основе пожнивных остатков (проса) в бассейне Оулд Пинат (Сенегал) в течение 25-летнего периода реализации проекта

Малоимущие домашние хозяйства	Затраты первого года (долл. США/га)	Вводимые ресурсы	1076
		Трудовые ресурсы	123
	Затраты в год, годы 2–25 (долл. США/га)		129
	Выгоды первого года (долл. США/га)		54
	Выгоды в год, годы 2–25 (долл. США/га)		262
	Недисконтированная чистая выгода (в долл. США/тС/га)		3983
	Чистая приведенная стоимость (в долл. США; норма дисконта - 20%)		-643
Домашние хозяйства от средних до состоятельных	Затраты первого года (долл. США/га)	Вводимые ресурсы	139
		Трудовые ресурсы	93
	Затраты в год, годы 2–25 (долл. США/га)		26
	Выгоды первого года (долл. США/га)		54
	Выгоды в год, годы 2–25 (долл. США/га)		96
	Недисконтированная чистая выгода (в долл. США/тС/га)		2926
	Чистая приведенная стоимость (в долл. США; норма дисконта - 20%)		22

Источник: Щакерт (Tschakert, 2004)

При обработке пожнивных остатков путем производства биогумуса образуется приблизительно 463 мг $\text{CO}_2\text{ем}^{-2}\text{ч}^{-1}$ по сравнению их анаэробным перевариванием, при котором выделяется 694 мг $\text{CO}_2\text{ем}^{-2}\text{ч}^{-1}$. Эксперименты, проведенные Чаном и др. (Chan et al., 2011) в городах Австралии, четко подтверждают, что при обработке пожнивных остатков и использовании червей для интенсификации компостирования выбросы ПГ сокращаются. У фермеров имеются широкие возможности смягчения последствий выбросов ПГ при производстве биогумуса путем уменьшения использования химических удобрений, которые, как правило, порождают выбросы N_2O и CH_4 .

v. Примеры/места, в которых в настоящее время это практикуется

Обработка пожнивных остатков вне поля путем их компостирования или переваривания не применяется широко на практике.

vi. Барьеры на пути распространения

Отсутствие надлежащего оборудования для измельчения и ввода в почву для обеспечения обрезки пожнивных остатков на должной высоте является одной из главных причин колоссальных потерь сельскохозяйственной биомассы. Высокие затраты на трудовые ресурсы и транспорт являются еще одной причиной отсутствия заинтересованности в применении технологий обработки пожнивных остатков.

6. Органическое сельское хозяйство

i. Определение технологии

Органическое сельское хозяйство – это система производства, в которой не допускается или по большей части исключается использование синтетических удобрений, пестицидов и регуляторов роста. Связывание углерода в ней осуществляется за счет севооборота, использования пожнивных остатков, животного навоза, бобовых культур, сидерата и внехозяйственных органических отходов (Лампкин и др. (Lampkin et al., 1999)). Кроме того, эта система позволяет сокращать выбросы углерода за счет недопущения использования ископаемых видов топлива в производстве химикатов, используемых для изготовления синтетических материалов.

ii. Описание технологии

В органическом земледелии ограничивается использование искусственных удобрений и пестицидов и поощряется применение севооборота, сидерата, биологических методов контроля за вредителями и механической обработки почвы для контроля сорняков. В принятии этих мер используется естественная природная среда для повышения производительности сельского хозяйства. Осуществляется посадка бобовых культур для связывания азота в почве, и поощряется использование природных хищных насекомых. Для обновления почвы осуществляется ротация культур, а для борьбы с заболеваниями и сорняками применяются естественные материалы, такие как бикарбонат калия и мульча. Отличительной чертой органического земледелия является многообразие культур. Однако органическое земледелие возникло как маломасштабная деятельность на площади от 1 акра (4 000 м²) до менее 100 акров (0,40 км²). В органическом сельском хозяйстве используются такие многообразные методы как севооборот, запашные культуры, ограниченная вспашка и применение компоста. Органическое сельское хозяйство является одним из важных вариантов связывания углерода, что сокращает выбросы парниковых газов.

Фермеры, занимающиеся органическим сельским хозяйством, применяют разные методы. Наиболее действенны методы удобрения животным навозом, компостированными пожнивными остатками и бобовыми растениями, такими как покровные (напочвенные) и (азото-) улавливающие культуры. Плодородие почвы также повышают включение в севооборот травы и клевера для наращивания плодородия почвы, диверсификация последовательности культур и уменьшение глубины и частоты вспашки. Все эти методы повышают интенсивность связывания углерода на органических полях, тогда как на традиционных полях органические вещества почвы в большей степени подвергаются вспашке и впоследствии в большем объеме теряются из-за

минерализации. При органическом земледелии годовая интенсивность связывания углерода повышается до 3,2 тонны CO₂ /га·год⁻¹ (Смит и др. (Smith et al., 2007)).

Хотя использование азота не ограничивается органическим сельским хозяйством, использование азота навоза и компоста и азота из воздуха, связанного бобовыми растениями, обладает потенциалом смягчения последствий выбросов, который составляет 4,5-6,5 Гт CO₂ в год⁻¹ (из глобальных выбросов ПГ в размере 50 Гт CO₂ в год⁻¹), или приблизительно 9-13% общих выбросов ПГ. Смягчение последствий достигается за счет связывания углерода в почве за счет интенсивного образования гумуса (Смит и др. (Smith et al., 2007)). Регулярное применение животного навоза несколько лет ведет к существенному повышению органического углерода в почве (Лал и др. (Lal et al., 1998b)). Для органического сельского хозяйства характерны более низкие выбросы N₂O, составляющие 1,2-1,6 Гт CO₂ в год⁻¹. В органическом сельском хозяйстве не сжигается биомасса. Выбросы N₂O на 0,6-0,7 Гт CO₂ в год⁻¹ ниже по сравнению с традиционным сельским хозяйством (Смит и др., 2007 (Smith et al., 2007)). Органические системы характеризуются высокой адаптируемостью к изменению климата благодаря: (а) применению традиционных навыков и знаний фермеров, (b) методам наращивания плодородия почвы и (c) высокой степени многообразия.

Органическое земледелие позволяет значительно сократить выбросы ПГ аграрного сектора и сделать сельское хозяйство почти нейтральным с точки зрения выбросов ПГ (Ниггли и др. (Niggli et al., 2009)). Выбросы парниковых газов, обусловленные применением синтетических удобрений, составляют, по оценкам, 1 000 миллион тонн ежегодно. Эти выбросы отсутствуют в случае применения органических методов земледелия. Выбросы ПГ сельского хозяйства сокращаются приблизительно на 20%. Выбросы ПГ можно снизить еще на 40% за счет связывания углерода в почве со скоростью 100 кг С га⁻¹ год⁻¹ в случае пастбищных угодий и 200 кг С га⁻¹ год⁻¹ в случае возделываемых культур. Применение органического земледелия в комплексе с ограниченной вспашкой позволяет повысить интенсивность связывания углерода до 500 кг С га⁻¹ год⁻¹ в случае возделываемых культур по сравнению с традиционными пахотными системами земледелия, однако, когда динамика углерода почвы достигнет нового равновесия, в дальнейшем эта интенсивность снижается. Это сокращает выбросы ПГ еще на 20%. Органическое земледелие является важным вариантом в многофункциональном подходе к изменению климата.

В прошлом сельское хозяйство было органическим с возвратом в оборот сельскохозяйственных отходов и навоза. Применялись очень небольшие или пренебрежимо малые объемы внешних вводимых ресурсов. На протяжении столетий устойчивая практика и циклы земледелия менялись и были объединены с животноводством. Например, известно, что фермеры древней Индии разработали безопасные для природы методы и практику, такие как смешанное возделывание культур и севооборот.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

1. Органическое сельское хозяйство направлено на повышение плодородия почв и снабжения азотом путем использования бобовых культур, пожнивных остатков и покровных культур, на упразднение использования ископаемых видов топлива для производства азотных удобрений. Добавление пожнивных остатков и покровных культур ведет к стабилизации органических веществ в почве на более высоких уровнях и повышает связывание CO_2 в почве.
2. Органическое сельское хозяйство повышает водоудерживающую способность почвы, что удлиняет продолжительность устойчивости культур в засушливом цикле, исходя из допущения, что на начальном этапе был обеспечен полный профиль. Это должно обеспечить адаптацию к непредсказуемым климатическим условиям. Удержание углерода в почве с большей вероятностью обеспечит противостояние вызовам, связанным с климатом, и эрозии почвы, которая является серьезным источником потерь CO_2 .
3. Органическое сельское хозяйство вносит вклад в производственные системы агролесоводства, которые служат дополнительным способом связывания углерода.
4. Органические системы обладают высокой адаптируемостью к изменению климата благодаря применению традиционных навыков и знаний фермеров, методов повышения плодородия почвы и высокой степени многообразия.
5. Органическое сельское хозяйство в качестве способа защиты водных ресурсов уменьшает загрязнение водных ресурсов благодаря отсутствию пестицидов и химических удобрений.
6. Органическое сельское хозяйство совместимо с противоэрозийной вспашкой почвы, что еще более повышает потенциал связывания углерода за счет применения этой технологии смягчения последствий выбросов углерода.

Недостатки

1. Для органического сельского хозяйства характерна более низкая производительность по сравнению с традиционным сельским хозяйством. Следовательно, урожайность очень требовательных культур, таких как картофель, грейпфруты и плодовые культуры, слишком низка и повышается сравнительный расход энергии в расчете на единицу производимой культуры (Смит и др. (Smith et al., 2007)).
2. Качество продукции, выращиваемой органическими методами, часто ниже из-за ее повреждения насекомыми, что в меньшей степени характерно для традиционного сельского хозяйства, в котором применяются пестициды.
3. В большой степени зависит от биогенных веществ, получаемых от скота.

Рисунок 6.1 Бобовые культуры в качестве сидерата в органическом земледелии

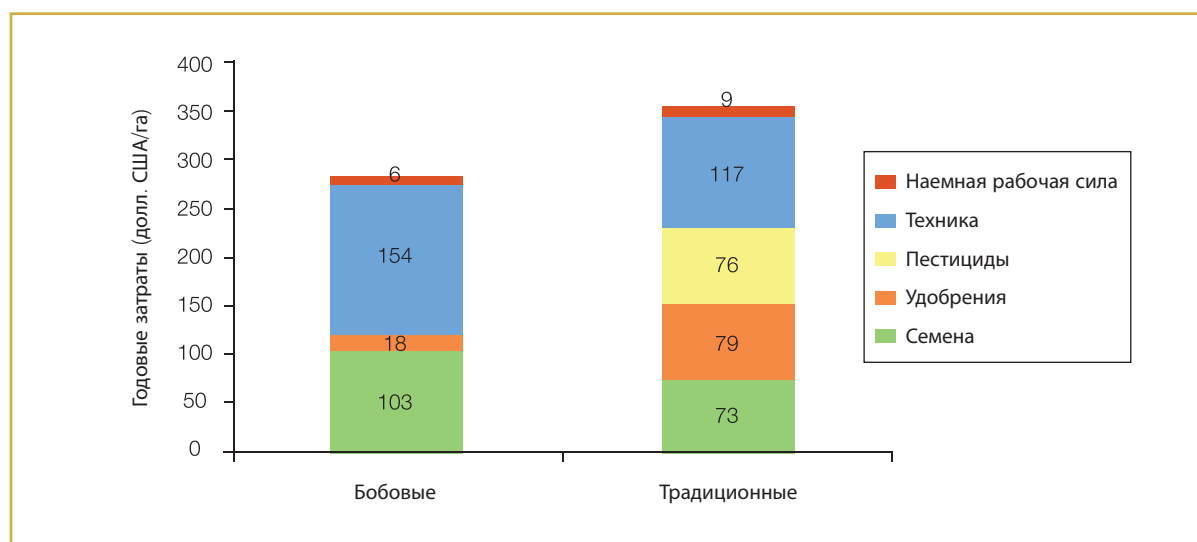


Источник: Международный торговый центр ЮНКТАД/ВТО, монография «Органическое земледелие и изменение климата» (International trade Center UNCTAD/WTO, Monograph, Organic farming and climate change, 2007).

iv. Экономические аспекты и потенциал снижения выбросов

Для органического сельского хозяйства требуется на 28%-32% меньше энергии по сравнению с традиционными системами. Затраты на вводимые ресурсы – семена, удобрения, пестициды, технику и наемную рабочую силу – приблизительно на 20% ниже в чередовании культур, в число которых входит бобовая культура, по сравнению с традиционной системой севооборота (рисунок 6.2) (Кимбл и др. (Kimble et al., 2007)).

Рисунок 6.2 Годовые вводимые затраты на чередование культур, включающих бобовые культуры, и традиционное чередование зерновых



Источник: Кимбл и др. (Kimble et al., 2007).

На возвышенностях восточной Африки расход углеродных вводимых ресурсов в связи с применением животного навоза составляет $2\,820\text{ кг га}^{-1}\text{ год}^{-1}$, связанные с этим затраты – 156 долл. США на 1 га, а эффективность связывания углерода – 5,5% (Вумер и др. (Woomer et al., 1998)). Связывание одной тонны углерода почвы с использованием животного навоза стоит 260 долл. США, но в результате этого удобрения прибыль увеличивается на 1 066 долл. США (коэффициент окупаемости 4,1). По оценкам некоторых экспертов, стоимость навоза составляет приблизительно 1 000 долл. США: в этом случае дополнительная прибыль почти нивелируется. Расход углеродных вводимых ресурсов при применении кукурузных стеблей составляет $1\,830\text{ кг га}^{-1}\text{ год}^{-1}$, связанные с этим затраты – 37 долл. США на 1 га, а эффективность связывания углерода – 5,4%. Связывание одной тонны углерода почвы с использованием кукурузных стеблей стоит 374 долл. США, но их применение также подавляет урожайность культур, результатом чего являются убытки в размере 112 долл. США (коэффициент окупаемости -1,3).

Годовой глобальный потенциал связывания углерода в органическом сельском хозяйстве составляет $2,4\text{--}4\text{ Гт CO}_2\text{ е год}^{-1}$, а применение новых технологий органического сельского хозяйства позволяет повысить его до $6,5\text{--}11,7\text{ Гт CO}_2\text{ е год}^{-1}$ (Смит и др. (Smith et al., 2008)).

Для органического сельского хозяйства характерны более низкие выбросы метана и закиси азота в размере $0,6\text{--}0,7\text{ Гт CO}_2\text{ е год}^{-1}$ по сравнению с традиционным сельским хозяйством, в котором сжигаются пожнивные остатки (Смит и др. (Smith et al., 2007)).

Органическое сельское хозяйство обладает значительным потенциалом внутривозвратного энергоснабжения за счет производства биогаза из шлама и компоста, хотя таким образом отвлекаются объемы органического материала, возвращаемого в почву.

Если бы все сельское хозяйство было органическим, прекращение применения азотных удобрений привело бы к существенному смягчению последствий выбросов. Например, в случае Великобритании энергопотребление страны снизилось бы на 1,5%, а общенациональные выбросы парниковых газов сократились бы на 1% (Май-Вон и Чин (Mae-Wan and Ching, 2008)). Проводившиеся ранее исследования показали, что в системах органического земледелия в Европе выбросы ПГ были бы на 48–66% ниже в расчете на 1 гектар. Смягчение последствий выбросов было обусловлено нулевым расходом химических азотных удобрений, уменьшением объема энергоемких исходных материалов, низким расходом фосфорных и калийных минеральных удобрений и прекращением использования пестицидов. Однако производительность органического земледелия, вероятно, была бы ниже.

v. Примеры/места, в которых в настоящее время это практикуется

В Индии около 76 000 га органических сельскохозяйственных угодий. Штаты Уттаракханд и Сикким провозгласили себя органическими штатами из 28 штатов Индии. В штате Нагаленд органическое земледелие осуществляется на 3 000 га, на которых выращиваются кхолар, кукуруза, имбирь, соя, крупный кардамон, маракуя и перец чили. Племенные регионы, в которых практикуется органическое земледелие, являются высокоприоритетными районами с точки зрения поощрения

продолжения этой практики. К числу этих регионов относятся племенные районы штатов Орисса, Мадхья-Прадеш и северо-восток, хрупкие экосистемы Гималаев и Западного Гхата, богарные засушливые районы и территории «зеленой» революции (Масуд (Masood, 2009)).

Как указано в работе Уиллера и др. (Willer et al., 2008; <http://orgprints.org/8535/>), органическое сельское хозяйство быстро развивается и в настоящее время практикуется в более чем 130 странах. В конце 2006 г. 30,4 миллиона гектаров сельскохозяйственных угодий обрабатывалось методами органического сельского хозяйства, что на 1,8 миллиона гектаров больше по сравнению с 2005 г. Океания является регионом, наибольшая доля земель которого возделывается методами органического сельского хозяйства, за ней следуют Европа и Латинская Америка. В настоящее время страной с наибольшей площадью органических земель является Австралия (более 12 миллионов гектаров), за которой следуют Китай (2,3 миллиона га), Аргентина (2,2 миллиона га) и Италия (1,1 миллиона га). В прочих странах площадь органических земель составляет меньше 1 миллиона га.

Глобальный спрос на органическую продукцию остается стабильным, объем продаж органической продукции увеличивается на более чем 5 миллиардов долл. США в год. По оценкам Organic Monitor, в 2006 г. объем международных продаж достиг 38,6 миллиарда долл. США, что вдвое больше, чем в 2000 г., когда продажи составляли 18 миллиардов долл. США. Анализ глобальных данных по органическому сельскому хозяйству стран, которые входят в перечень получателей официальной помощи для целей развития (Перечень ОПР), показывает, что на страны, включенные в этот перечень, приходится более четверти органических сельскохозяйственных угодий мира (8,8 миллиона га). Основная часть этих земель находится в Латинской Америке, за которой следуют Азия и Африка.

vi. Барьеры на пути распространения

Помимо преодоления традиции применения недавно внедренных синтетических удобрений и пестицидов, основными барьерами на пути внедрения органического сельского хозяйства являются его более низкая производительность и, следовательно, более высокие цены, а также более низкое качество продукции на рынке. Необходимо далее просвещать фермеров и общественность, чтобы показать, что более высокие текущие затраты оправданы с учетом таких преимуществ органического сельского хозяйства как его экологическая устойчивость и долгосрочная устойчивость.

7. Биоэнергия

7.1 Сельское хозяйство для производства биотоплива

i. Определение технологии

Для производства биотоплива – твердого, жидкого и газообразного – может использоваться биомасса аграрного сектора. Биотопливо замещает ископаемые виды топлива для энергоснабжения. Если биомасса выращивается в устойчивом цикле для производства биотоплива, такая сельскохозяйственная практика снижает выбросы ПГ благодаря тому, что ископаемое топливо не сжигается. Биотопливо можно получать из таких источников биомассы как кукуруза, сахарный тростник, сорго, соя, пожнивные остатки, масличная пальма (*Elaeis guineensis*), просо, *Miscanthus*, биоинженерные водоросли и семена *Jatropha curcas*, деревья и травы. Уже применяются биотопливные культуры первого поколения (такие как сахарный тростник и кукуруза), из которых производят сок и зерновой этанол. Помимо этого, представляются перспективными целлюлозные этаноловые культуры второго поколения (например, *Miscanthus*). Биотопливо третьего поколения, когда выращиваются микроводоросли на CO_2 и воде для непосредственного производства биодизеля, описывается в разделе 7.1.2 настоящего руководства.

ii. Описание технологии

Основными источниками сырья для энергии, призванной вытеснить ископаемые виды топлива, служат сельскохозяйственные культуры и остатки. Для производства биотоплива применяется широкий диапазон материалов, таких как зерно, пожнивные остатки, целлюлозные культуры (например, просо, сахарный тростник и различные виды деревьев) (Постиан и др. (Paustian et al., 2004); Эйдман (Eidman, 2005)). Эти продукты перерабатываются далее для получения жидких видов топлива, таких как этанол и дизельное топливо (Рихтер (Richter, 2004)). При сжигании этого топлива выделяется CO_2 , но это CO_2 , который недавно образовался в атмосфере (путем фотосинтеза) и который вытесняет CO_2 , который в противном случае был бы выделен ископаемым углеродом. Чистая выгода для атмосферного CO_2 однако зависит от энергии, расходуемой для выращивания и переработки сырья для производства биоэнергии (Спатари и др. (Spatari et al., 2005)).

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

1. Некоторые виды сырья для производства биотоплива, например, ятрофу и масличную пальму, можно выращивать на засушливых землях и паровых землях на коммерческой основе.

2. На остатках свежей/сухой биомассы могут работать приблизительно 70-88 миллионов установок для производства биогаза.
3. Субстрат, такой как отходы крупного рогатого скота и биомасса, применяемый в этой технологии, легко доступен. Его доступность для установок для производства биогаза позволяет удовлетворить потребность 12-30 миллионов семей.

Недостатки

1. Для удовлетворения глобального спроса на биотопливо требуется большая площадь земель. Для прогнозируемого выращивания биотопливных культур до 2030 г. может потребоваться более 30 миллионов гектаров земель (МЭА (IEA, 2009)). Однако в работе Филда и др. (Field et al., 2008) указывалось, что необходимо 1 500 миллионов гектаров земель под возделываемыми биотопливными культурами. Как показывают расчеты, выполненные в работе Мелилло и др. (Melillo et al., 2009), до конца 2100 г. для биотопливных культур будет требоваться 1 600-2 000 миллионов гектаров, исходя из допущения о том, что к тому времени основная часть спроса на топливо будет удовлетворяться за счет биотоплива. Высвободить такую большую площадь пахотных угодий для выращивания биотопливных культур практически невозможно.
2. Потребность в землях для биотопливных культур будет конкурировать с потребностью в землях для пищевых и кормовых культур, что приведет к росту цен на продовольствие.
3. Во многих случаях действующего производства этанола из зерна использование ископаемого топлива в связи с применением химических удобрений, мощности трактора и так далее ведет к неприемлемо малому чистому сокращению использования ископаемых видов топлива (например, Шарлеманн и Лоранс (Scharlemann and Laurance, 2008)).
4. Производственные системы с целесообразными ферментами для использования целлюлозного сырья пока не стали коммерчески жизнеспособными.
5. Отсутствует надлежащее управление ресурсами, из которых производится биогаз, для использования максимального потенциала биогаза.
6. Недоступность и структурная эксплуатация тенков для биогаза не позволяют создавать и развивать установки для биогаза бытового размера.

iv. Экономические аспекты и потенциал снижения выбросов

Использование шелухи в качестве топлива представляется перспективным вариантом смягчения последствий выбросов. Шелуху можно использовать для непосредственного сжигания, в газификаторе биомассы, в виде брикетов и как твердый уголь. Ее относительная стоимость составляет приблизительно 4 долл. США за 1 тонну снижения выбросов CO₂e, а потенциал смягчения последствий выбросов варьируется в пределах 0,9-1,2 т CO₂e га⁻¹ (в зависимости от уровня производства биомассы). Рисовую шелуху легко собирать на мукомольных заводах, так что этот источник возобновляемой энергии представляется еще более перспективным, чем использование соломы (Джанджинджер (Junginger, 2000); Вассманн и Патак (Wassmann and Pathak, 2007)).

Потенциал смягчения последствий выбросов огромен, особенно если можно будет ввести в коммерческий оборот источники целлюлозной биомассы. Однако экономические аспекты таковы, что для проникновения на рынок биотоплива должно подкрепляться законодательством и субсидиями, по крайней мере в тех регионах США, где сейчас в определенные периоды года в бензине должна присутствовать определенная доля этанола больше для уменьшения загрязнения воздуха озоном, чем для смягчения последствий выбросов ПГ (например, Регалбучо (Regalbuto, 2009)), и где законом предписывается, что к 2022 г. объем целлюлозного этанола должен составить 16 миллиардов галлонов (Робертсон и др. (Robertson et al., 2008)). В Европе также действует требование о том, что к 2020 г. 10% всего транспортного топлива должно составлять топливо из возобновляемых источников (Робертсон и др. (Robertson et al., 2008)).

v. Примеры/места, в которых в настоящее время это практикуется

По использованию биотоплива, вероятно, лидирует в мире Бразилия, где приблизительно 25% топлива наземного транспорта составляет этанол, произведенный из сахарного тростника (Сомервилль (Somerville, 2006)). Как указано выше, в США в определенные периоды года этанол (произведенный по большей части из кукурузы) подмешивается в бензин для сокращения загрязнения атмосферного воздуха в некоторых регионах страны.

vi. Барьеры на пути распространения

Как уже упоминалось, серьезным барьером на пути производства биотоплива из зерна является конкурирующая потребность в зерне в качестве продовольствия и корма. Системы использования целлюлозной биомассы пока не жизнеспособны с коммерческой точки зрения, хотя для стимулирования их применения проводятся масштабные научные исследования и предоставляются субсидии. Даже если научные исследования в лабораторных масштабах перспективны, имеются трудности, связанные с масштабированием инфраструктуры для создания целесообразной цепи поставок для целлюлозной биоэнергии (Ричард (Richard, 2010)).

7.2 Смягчение последствий выбросов CO₂ микроводорослями

i. Определение технологии

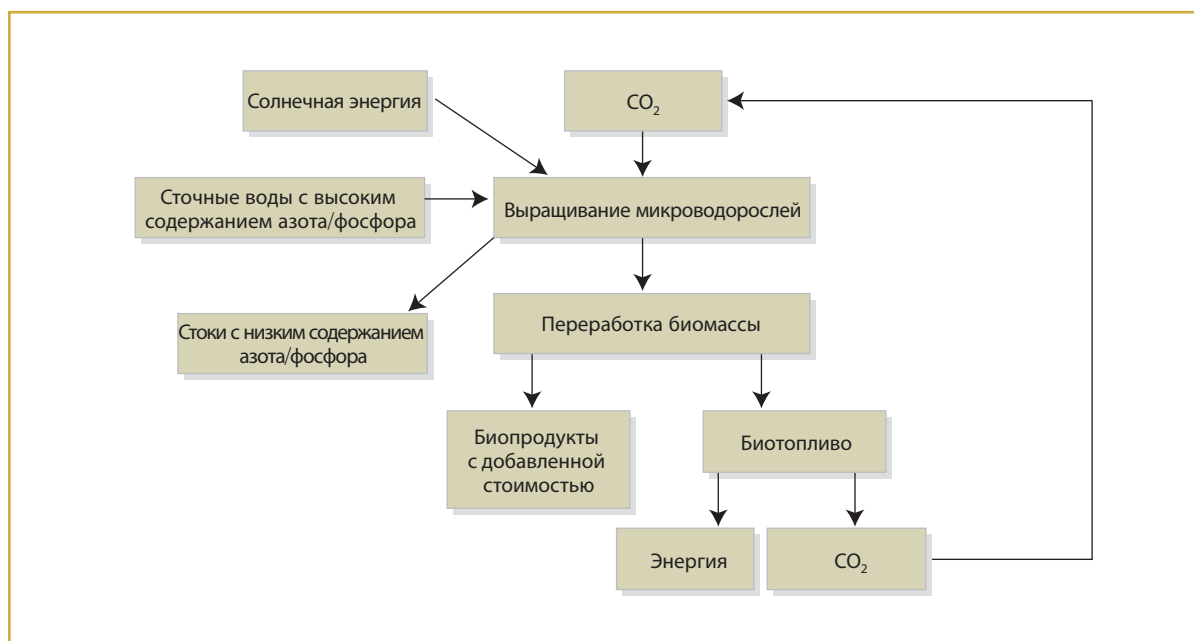
Микроводоросли – это группа быстрорастущих одноклеточных и простых многоклеточных фотосинтезирующих микроорганизмов, эффективно улавливающих CO₂ из разных источников, в частности из атмосферы, промышленных выхлопных газов и растворимых карбонатных солей. Микроводоросли представляют собой важную систему преобразования атмосферного CO₂ в липиды при солнечном свете, повышающую выработку водорослевого масла. Содержащийся в микроводорослях фермент ацетил-CoA-карбоксилаза (ACCCase) катализирует ключевой этап метаболизма в синтезе масла в водорослях.

Микроводорослевая технология смягчения последствий выбросов углекислого газа

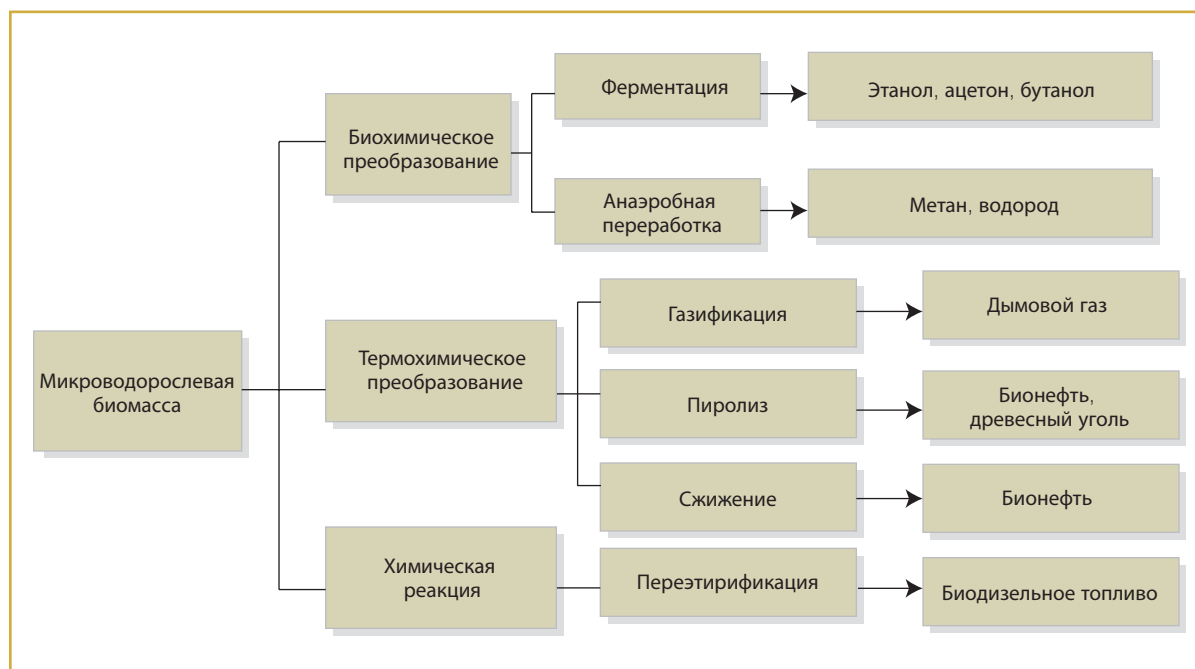
Установлено, что для связывания CO_2 и производства биодизеля полезны приблизительно 3 000 видов из 200 000 видов микроводорослей (Кеффар (Keffar, 2003)). Микроводоросли являются перспективной альтернативой смягчению последствий выбросов CO_2 путем связывания CO_2 , производства биотоплива и очистки сточных вод. Связывание CO_2 фотоавтотрофными водорослевыми культурами обладает потенциалом уменьшения выбросов CO_2 в атмосферу, что смягчает тенденцию глобального потепления (рисунок 7.1). Биотопливо является производным от микробов, которые могут жить на суше, непригодные для сельскохозяйственных культур и генерировать почти готовые для двигателей химикаты, которые считаются биотопливом третьего поколения. («New Scientist» (New Scientist, 2011)).

Микроводоросли, снабжаемые CO_2 и солнечным светом, вырабатывают большие объемы липидов и таким образом повышают выработку водорослевого масла. Содержащийся в микроводорослях фермент ацетил-СоА-карбоксилаза (ACCase) выступает катализатором и преобразует CO_2 в синтезе масел в водорослях.

Рисунок 7.1 Концептуальная микроводорослевая система комбинированного производства биотоплива, биоснижения выбросов CO_2 и удаления N/P из сточных вод. Вводимые ресурсы: источник углерода, CO_2 ; источники азота и фосфора, сточные воды с высоким содержанием азота и фосфора, солнечная энергия. Результаты: низкие



Источник: Ванг и др. (Wang et al., 2008).

Рисунок 7.2 Преобразование микроводорослевой биомассы во вторичные продукты

Изменено на основе: Цукахара и Саваяма (Tsukahara and Sawayama, 2005).

Технический прогресс, в частности усовершенствование проекта фотобиореактора, сбора, сушки микроводорослевой биомассы и прочих технологий ее переработки являются важными направлениями, которые могут иметь своим результатом повышение экономической эффективности и, следовательно, успешное введение в коммерческий оборот биотоплива с применением микроводорослевой стратегии.

ii. Описание технологии

Микроводоросли связывают углекислый газ из разных источников, который можно подразделить на следующие категории:

1. CO_2 из атмосферы;
2. CO_2 из промышленных выхлопных газов (например, отработанный газ и газ, сжигаемый в факелах);
3. связанный CO_2 в виде растворимых карбонатов (например, NaHCO_3 и Na_2CO_3);
4. могут выращиваться в закрытых системах, что ведет к сбережению ценных запасов пресной воды.

Системы использования микроводорослей для связывания CO_2 включают следующие подсистемы:

1) Система открытого пруда

Размер открытых систем производства микроводорослей, как правило, варьирует в пределах 0,22-0,4 га (Педрони и др. (Pedroni et al., 2001)). О более крупной (900 га) системе производства одного вида водорослей сообщалось из города Мехико (Бекер (Becker, 1994)). Департамент качества окружающей среды штата Аризона также сообщал о пруде для выращивания водорослей площадью 1 406 га во Флориде (Департамент качества окружающей среды штата Аризона (Arizona Department of Environmental Quality, 1995)). Преимуществами использования системы открытого пруда являются низкие начальные и эксплуатационные затраты. Недостатки системы открытого пруда – это огромный размер требуемой территории, что неприемлемо по затратам во многих регионах, и высокая потребность в воде.

Рисунок 7.3 Выращивание азоллы в открытом пруду



Источник: NAIP (ICAR), Годовой доклад 2009 г., CRIDA, Хайдарабад, Индия.

2) Закрытая система биореактора

Фотобиореакторы дают такие преимущества как высокое соотношение поверхности и объема, барьер для минимизации загрязнения, потенциал достижения высокой плотности биомассы, высокая производительность биомассы и, следовательно, высокая скорость связывания CO_2 (Розелло и др. (Rosello et al., 2007)). Трубчатый фотобиореактор является одной из наиболее популярных конфигураций фотобиореакторов, применяемых в процессе связывания водорослевого углерода (Травиезо и др. (Travieso et al., 2001)).

Преимущества

1. Система фотобиореактора обладает более высокой потенциальной производительностью благодаря более эффективному экологическому контролю и эффективности улавливания углерода.

2. Хотя в настоящее время предпочтение, как представляется, отдается системам открытых прудов для коммерческого разведения микроводорослей в связи с низкими капитальными затратами, закрытые системы обеспечивают более полный контроль над загрязнением, переносом массы и прочими условиями выращивания водорослей.
3. Закрытые фотобиореакторы требуют меньше пресной воды, чем открытые пруды. Однако для охлаждения реактора в чрезвычайно теплых условиях могут потребоваться системы охлаждения, использующие воду, хотя для охлаждения можно использовать менее качественную воду.

Недостатки

1. Фотобиореакторы очень неэкономичны из-за их непомерно высокой стоимости.
2. Фотобиореакторы можно использовать только для видов водорослей, которые легко собирать.

3) Система с регулируемыми внешними условиями

Еще одной изучаемой стратегией связывания CO_2 водорослями является строительство умеренных систем с регулируемыми внешними условиями, таких как парники. Фермеры могут контролировать среду внутри парников, при этом затраты на строительство не так высоки, как затраты на фотобиореактор с солнечным коллектором.

iii. Преимущества и недостатки

Преимущества

1. Биоснижение выбросов CO_2 микроводорослями можно сделать более экономичным, эффективным с точки зрения затрат и экологически устойчивым, особенно когда оно применяется в комплексе с другими процессами, такими как очистка сточных вод. Использование сточных вод для выращивания микроводорослей несет в себе заметные преимущества, в частности следующие:
 - а) доказано, что микроводоросли эффективно удаляют азот и фосфор (Маллик (Mallick, 2002)), а также истощают металлические ионы, и выращивание микроводорослей в комплексе с очисткой сточных вод существенно повышает положительный экологический эффект этой стратегии.
 - б) Это ведет к экономии за счет минимизации использования химикатов, таких как азотнокислый натрий, калий и фосфор, как экзогенных биогенных веществ.
 - в) Микроводорослям свойственны значительно более высокие темпы роста и способность связывания CO_2 по сравнению с традиционными лесными, сельскохозяйственными и водными растениями (Ли и др. (Li et al., 2008)).

2. Некоторые виды микроводорослей, например, *Chlorella*, *Spirulina* и *Dunaliella*, имеют коммерческую ценность. Ожидается, что коммерческая прибыль от производства биомассы компенсирует общие операционные затраты на связывание CO₂.
3. Такие виды как *Chlorella* могут расти в условиях 20%-ного содержания CO₂, и поэтому они могут использовать в качестве источника CO₂ промышленные выхлопные газы и могут использоваться в качестве здоровой пищи (Бекер (Becker, 1994)).
4. Некоторые микроводоросли (например, *Dunaliella*) используют CO₂ для производства вторичных метаболитов, таких как β-каротин, удобрений и биотоплива в качестве побочных продуктов, имеющих экономическое значение. Эти продукты используются как продовольствие, лекарства и косметические продукты. Они также производят экономически эффективное биотопливо (Грэм и Уилкоккс (Graham and Wilcox, 2000)).
5. Микроводоросли также считаются многофункциональными системами, которые используются для переработки отходов, особенно для удаления азота и фосфора из стоков (Маллик (Mallick, 2002)), и в хозяйствах по разведению аквакультур, и представляют собой безопасную для окружающей среды технологию.
6. Высокие темпы роста микроводорослей позволяют удовлетворять высокий спрос на биотопливо на ограниченных земельных ресурсах без создания потенциального дефицита биомассы.
7. При выращивании микроводорослей в закрытых системах потребляется меньше воды, чем почвенными культурами.
8. Устойчивость микроводорослей к высокому содержанию CO₂ в газовых потоках делает возможным высокоэффективное смягчение последствий выбросов CO₂ (таблица 7.1).
9. Использование микроводорослей для производства биотоплива позволяет минимизировать выбросы закиси азота.
10. Земледелие с использованием микроводорослей потенциально может быть более эффективным с точки зрения затрат, чем традиционное земледелие.
11. Земледелие с использованием микроводорослей можно применять в комплексе со смягчением последствий выбросов CO₂ дымовыми газами и очисткой сточных вод.

Недостатки

1. В микроводорослевой культуре должна поддерживаться низкая концентрация биомассы, чтобы не ограничивалось проникновение света, что в сочетании с малым размером клеток водорослей делает сбор водорослевой биомассы сравнительно дорогостоящим.
2. Очень высока стоимость производства.

Таблица 7.1 Устойчивость к CO₂ различных видов микроводорослей

Вид	Известная максимальная концентрация CO ₂	Источники
<i>Cyanidium caldarium</i>	100%	Seckbach et al., 1971
<i>Scenedesmus sp.</i>	80%	Hanagata et al., 1992
<i>Chlorococcum littorale</i>	60%	Kodama et al., 1993
<i>Synechococcus elongatus</i>	60%	Miyairi, 1995
<i>Euglena gracilis</i>	45%	Nakano et al., 1996
<i>Chlorella sp.</i>	40%	Hanagata et al., 1992
<i>Eudorina spp.</i>	20%	Hanagata et al., 1992
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	15%	Nagase et al., 1998
<i>Nannochloris sp.</i>	15%	Yoshihara et al., 1996
<i>Chlamydomonas sp.</i>	15%	Miura et al., 1993
<i>Tetraselmis sp.</i>	14%	Matsumoto et al., 1995

iv. Экономические аспекты и потенциал снижения выбросов

Согласно работам Шенка и др. (Schenk et al., 2008) и Бенеманна и Освальда (Benemann and Oswald, 1996), стоимость производства водорослевого масла составляет 52 долл. США-91 долл. США за баррель. Это оценка, сделанная на основе 400 гектаров открытых прудов с использованием либо чистого CO₂, либо дымового газа электростанции, работающей на угле, при допущении о том, что производительность составляет 30-60 г м⁻² сутки⁻¹, а выход водорослевых липидов – 50%. Теоретически такой высокий выход возможен, но до настоящего времени не продемонстрирован. В еще одном анализе (Хантли и Редалье (Huntley and Redalje, 2006)) затраты на производство водорослевого масла оценивались в 84 долл. США на один баррель. В основе этого сценария лежали допущения о стоимости инфраструктуры с использованием гибридной системы с аэробной производительностью 70,4 г м⁻² сутки⁻¹ и выходом водорослевых липидов 35%.

v. Примеры/места, в которых в настоящее время это практикуется

Получение биотоплива из микроводорослей является предметом научных исследований, которые ведутся в нескольких местах мира. Однако его коммерческое производство пока не освоено.

Согласно Уиджффельсу и Барбозе (Wijffels and Barbosa, 2010), существующая инфраструктура микроводорослевого производства позволяет производить лишь приблизительно 5 000 тонн сухой водорослевой биомассы в год, которая предназначена для получения ценных продуктов, таких как каротиноиды и жирные кислоты омега-3, в качестве ингредиентов пищевой продукции и корма.

Расположенная в Кембридже (штат Массачусетс) компания «Joule Unlimited», занимающаяся биотехнологиями, создала установку с фотосинтезирующими цианобактериями с видоизмененной ДНК. В отличие от обычных цианобактерий, в клетках которых накапливается более высокое содержание масла, эти цианобактерии выделяют алканы – основной компонент дизельного топлива, что упрощает их сбор. Проводившиеся ранее научные исследования доказывают, что некоторые микробы, в частности ряд цианобактерий, могут синтезировать алканы. Связанные с этим генетические процессы непонятны, но установлено, что повышенная экспрессия генов в таких видах как *Thermosynechococcus elongates* (населяющих горячие источники) поощряет выделение алканов микробами («New Scientist» (New Scientist, 2011)).

vi. Барьеры на пути распространения

Главным барьером является огромная стоимость производства, а также практические аспекты, такие как сбор и высушивание. По оценкам Уиджффельса и Барбозы (Wijffels and Barbosa, 2010), для удовлетворения за счет микроводорослей потребностей в транспортном топливе Европы требуется территория размером с площадь территории Португалии, то есть масштаб производства должен возрасти на три порядка величины. Они также констатируют, что одновременно необходимо в 10 раз снизить стоимость производства.

8. Выводы

i. Преодоление барьеров

Имеются значительные возможности смягчения последствий выбросов парниковых газов в сельском хозяйстве, но необходимо преодолеть многочисленные барьеры. Многие исследования, проводившиеся в последнее время, показали, что фактические уровни смягчения последствий выбросов парниковых газов значительно ниже технического потенциала для принятия этих мер (Смит и др. (Smith et al., 2005a)). Разрыв между техническим потенциалом и реализованным смягчением последствий выбросов парниковых газов обусловлен препятствиями на пути реализации мер по смягчению последствий выбросов, в частности политикой, связанной и не связанной с климатом, а также институциональными, образовательными и экономическими ограничениями. Комплекс методов смягчения последствий выбросов парниковых газов сельским хозяйством, которые будут внедряться в дальнейшем, будет также зависеть от цены эквивалентов углекислого газа. Из-за этих ограничений общий биофизический потенциал в размере приблизительно 5 500-6 0000 CO₂ год⁻¹ никогда не будет реализован, но при условии принятия соответствующих мер политики, просвещения и стимулов сельское хозяйство может внести значительный вклад в смягчение последствий изменения климата к 2030 г.

ii. Совместные выгоды

Смягчение последствий выбросов парниковых газов путем принятия мер в сельском хозяйстве, повышающих содержание углерода в почве, уменьшает уязвимость к засухам и прочим видам стресса. Это также повышает водоудерживающую способность благодаря увеличению содержания углерода в почве для содействия устойчивому сельскому хозяйству. Эффективное использование азотных удобрений позволит повысить падающую урожайность и контролировать выбросы N₂O.

Мерами политики, наиболее успешно снижающими выбросы, могут быть меры, также достигающие другие социальные цели, такие как развитие сельских регионов, устранение бедности, улучшение управления водными ресурсами и агролесоводство. Эти другие цели взаимно усиливают смягчение последствий выбросов парниковых газов. Меры политики смягчения последствий выбросов ПГ, направленные на поощрение эффективного использования удобрений, поддержание содержания углерода в почве и поддержание сельскохозяйственного производства, скорее всего, дадут наибольший эффект синергизма в комплексе с устойчивым развитием. Смягчения последствий выбросов в расчете на единицу продукции можно достичь путем повышения урожайности культур и производительности животноводства. Это возможно за счет более эффективного управления культурами, возделывания земель, биогенных веществ

и орошения, генетически модифицированных культур, улучшенных культиваров, точного сельского хозяйства, улучшения пород животных, улучшения питания животных, добавок в рацион и стимуляторов роста, повышения фертильности животных, биоэнергетического сырья и анаэробного разложения шлама и систем улавливания метана. В этом случае точное сельское хозяйство состоит не только в управлении биогенными веществами, но и в осуществлении многих других видов деятельности, таких как орошение, виды культиваров, обработка почвы, комплексные методы борьбы с вредителями и прочие виды деятельности, связанные с сельскохозяйственными системами. Эти технические усовершенствования позволяют потенциально бороться с негативным воздействием, оказываемым изменением климата на запасы углерода в почве на площадях, занятых под сельскохозяйственными культурами, и пастбищах. Следовательно, технические усовершенствования являются одним из ключевых факторов дальнейшего смягчения последствий выбросов парниковых газов.

iii. Квоты на выброс углерода

Достижимые путем применения многих из этих технологий связывание углерода и смягчение последствий выбросов также позволяют воспользоваться выгодами квот на выбросы углерода на рынке квот. До настоящего времени успешно зарегистрировано несколько проектов, пользующихся преимуществами Механизма экологически чистого развития (МЭЧР). Технологии периодического орошения, попеременного увлажнения и высушивания и прямого посева риса уже опираются на утвержденную методику МЭЧР, которая называется «Смягчение последствий выбросов метана путем скорректированной практики рационального водопользования при выращивании риса» (AMS-III.AU) (РКИК ООН, UNFCCC, 2012b)). Один проект в Яве (Индонезия) на основе этой методики включен в перечень готовящихся проектов МЭЧР. Этим проектом охватывается территория площадью 5 250 га и 8 900 га в первые два года и 12 500 га в последующие годы. Проект еще находится на этапе одобрения, в его рамках предлагается создать 49 209 квот на выбросы углерода в год на 7-летний период квотирования (РКИК ООН (UNFCCC, 2006a); CD4CDM, 2012). Методики «Сводная базисная методика смягчения последствий выбросов ПК для систем использования навоза» (AMC0010) и «Улавливание метана в системах использования навоза» (AMS-III.D) применимы к использованию навоза и управлению биологическими твердыми веществами (РКИК ООН (UNFCCC, 2012a); РКИК ООН (UNFCCC, 2012c)). Зарегистрировано большое число проектов МЭЧР, которыми предусматривается применение этих методик. Один из таких проектов – проект «Ramirana Emission Reduction Project of Agrícola Super Limitada» в Чили. Им предусматривается использование усовершенствованной переработки отходов свиноферм, и в его рамках предлагается создать 58 684 квоты на выбросы углерода в год на 7-летний период квотирования (РКИК ООН (UNFCCC, 2006b); CD4CDM, 2012).

Однако неопределенность относительно будущего Киотского протокола и недоступность утвержденных методик в отношении других технологий (таких как сельскохозяйственные биотехнологии, покровные культуры, управление биогенными веществами, вспашка/использование пожнивных остатков, использование калийных удобрений, применение ингибиторов азота, применение акцепторов электрона, агролесоводство, усовершенствованная практика кормления и органическое сельское хозяйство), которые ведут либо к связыванию

углерода, либо к смягчению последствий выбросов ПГ, указывают на то, что МЭЧР вряд ли будут играть очень большую роль. В дальнейшем, однако, распространение многих из перечисленных в настоящем руководстве технологий в большой степени зависит от хода глобальных переговоров по вопросам изменения климата в части финансирования безопасных для климата технологий.

iv. Адаптация технологий

Необходимо адаптировать технологии к местным условиям. Принципиально важно задействовать в разработку и распространение технологий местных фермеров, сотрудников по распространению знаний и опыта и научно-исследовательские институты. Кроме того, эффективность стратегий смягчения последствий выбросов ПГ со временем меняется. Действенность некоторых методов, таких как методы, повышающие содержание углерода в почве, через несколько десятилетий уменьшается. Другие методы, например, методы, снижающие энергопотребление, сокращают выбросы неопределенно долго.

v. Научные исследования

Доступные технологии смягчения последствий выбросов ПГ находятся на разных этапах развития. Для того, чтобы сделать эти технологии коммерчески жизнеспособными и применимыми, требуется большой объем научных исследований и опытно-конструкторских разработок. Важную роль содействующих организаций в соответствующем развитии, демонстрации и последующем активном внедрении технологий могут играть международные организации. Различные научно-исследовательские организации и организации, занимающиеся внедрением технологий, представляющие разные заинтересованные стороны в стране, должны работать в тесной координации над разработкой и применением существующих и инновационных технологий смягчения последствий выбросов ПГ. Например, при определении систем выращивания риса с низкими выбросами метана необходимо учитывать следующее:

1. 1.Характеристика условий для смягчения последствий выбросов ПГ на конкретных объектах.
2. Разработка пакетов технологий смягчения последствий выбросов ПГ на региональной основе.
3. Обеспечение синергизма с усовершенствованием технологий смягчения последствий воздействия производства для учета баланса смягчения последствий выбросов метана и выбросов N_2O .
4. Использование базы данных ГИС для определения культиваров риса, выбрасывающих метан, и характеристики мест их выращивания.

На аграрный сектор приходится значительная доля выбросов ПГ, и он должен серьезно учитываться в глобальных усилиях по смягчению последствий выбросов ПГ. Несмотря на это, в смягчении последствий выбросов ПГ в этом секторе значительный прогресс не достигнут. Недостаточный уровень информированности и отсутствие методических указаний, а также низкий экономический потенциал фермеров ведут к тому, что продолжает применяться старая практика

ведения сельского хозяйства с более высокими выбросами ПГ. Ключевыми требованиями для более эффективного внедрения новых технологий смягчения последствий выбросов ПГ, особенно в развивающихся странах, являются целесообразные государственные политика и программы. Действует ряд мер политики, уже содействующих смягчению последствий выбросов ПГ этим сектором, в частности практика землепользования, внедрение и использование биоэнергии, земледелие с ограниченной вспашкой и прочие меры управления органическим углеродом почвы в некоторых развитых регионах мира. Следует внедрять новые меры политики в развивающихся регионах, способствующие применению таких технологий смягчения последствий выбросов ПГ путем налогообложения, стимулов и субсидий. Также необходимы меры политики, поощряющие проведение научных исследований в этой области для понимания адаптируемости новых технологий в разных климатических и экологических условиях.

Библиография

Abrol, I.P., R.K. Gupta and R.K. Malik (Editors) (2005): Conservation Agriculture. Status and Prospects. Centre for Advancement of Sustainable Agriculture, New Delhi pp. 242.

Achtnich C., Bak F., and Conrad R., (2005): Competition for electron donors among nitrate reducers, ferric iron reducers, sulfate reducers, and methanogens in anoxic paddy soil. *Biology and Fertility of Soils* 19, 65-72.

Adhya T.K., Pathnaik P., Satpathy S.N., Kumarswamy S., and Sethunathan, N. (1998): Influence of phosphorus application on methane emission and production in flooded paddy soils. *Soil. Biol Biochem* 30: 177-181.

Aggarwal, A. (2007): Monitoring of Carbon Sequestration Through Micro propagated Bamboo Plantation In Himalayan Region., pp-1-7, 2007 (Unpublished).

Ainsworth, E.A., C. Beier, C. Calfapietra, R. Ceulemans, M. Durand-Tardif, G.D. Farquhar, D.L. Godbold, G.R. Hendrey, T. Hickler, J. Kaduk, D.F. Karnosky, B.A. Kimball, C. Körner, M. Koornneef, T. Lafarge, A.D.B. Leakey, K.F. Lewin, S.P. Long, R. Manderscheid, D.L. McNeil, T.A. Mies, F. Miglietta, J.A. Morgan, J. Nagy, R.J. Norby, R.M. Norton, K.E. Percy, A. Rogers, J.F. Soussana, M. Stitt, H.-J. Wiegel, and J.W. White (2008). Next² generation of elevated [CO₂] experiments with crops: A critical investment for feeding the future world. *Plant, Cell and Environment* 31:1317-1324.

Albrecht, A. & Kandji, S.T. (2003). Carbon sequestration in tropical agroforestry systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 99:15-27.

Animut G., R. Puchala, and A. L. Goetsch (2008): Methane emission by goats consuming diets with different levels of condensed tannins from lespedeza. *Animal Feed Science and Technology* 144(3-4):212-227.

Arizona Department of Environmental Quality (1995) Arizona guidance manual for constructed wetlands for water quality improvement. Arizona Department of Environmental Quality, Arizona.

Babu, J.Y., Nayak, D.R., and Adhya, T.K. (2006): Potassium Application Reduces Methane Emission from a Flooded Field Planted to Rice. *Biol. Fertil. Soils*. (2006), 42:532-54.

Barker T., I. Bashmakov, L. Bernstein, J. E. Bogner, P. R. Bosch, R. Dave, O. R. Davidson, B. S. Fisher, S. Gupta, K. Halsnæs, G.J. Heij, S. Kahn Ribeiro, S. Kobayashi, M. D. Levine, D. L. Martino, O. Masera, B. Metz, L. A. Meyer, G.-J. Nabuurs, A. Najam, N. Nakicenovic, H. -H. Rogner, J. Roy, J. Sathaye, R. Schock, P. Shukla, R. E. H. Sims, P. Smith, D. A. Tirpak, D. Urge-Vorsatz, and D. Zhou

(2007): Technical Summary. In: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O. R. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave, L. A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Available at www.mnp.nl/ipcc/pages_media/FAR4docs/final_pdfs_ar4/TS.pdf

Beauchemin K. A., and S. M. McGinn (2005): Methane emissions from feedlot cattle fed barley or corn diets. *Journal of Animal Science*, 83: 653-661.

Becker, E. W. (1994) *Microalgae: Biotechnology and microbiology*. Cambridge University press, Cambridge, Great Britain. p293.

Bedard, C. and Knowles, R. (1989): Physiology, biochemistry and specific inhibitors of CH_4 , NH_4^+ and CO oxidation by methanotrophs and nitrifiers. *Microbiol Rev* 53: 68-84.

Benemann, J. & Oswald, W., (1996). Systems and Economic Analysis of Microalgae Ponds for Conversion of CO_2 to Biomass. Final Report to the US Department of Energy. Pittsburgh Energy Technology Center.

Berg W., and Pazsiczki I. (2006): Mitigation of methane emissions during manure storage. *International Congress Series*, 1293: 213-216.

Bhatia A, Sasmal S, Jain N, Pathak H, Kumar R and Singh A (2010): Mitigating nitrous oxide emission from soil under conventional and no-tillage in wheat using nitrification inhibitors. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 136(3-4): 247-253.

Bogner J., K. Spokas, J. Chanton, D. Powelson, J. Fleiger, and T. Abichou, (2005): Modeling landfill Methane Emissions from Biocovers: A combined theoretical-empirical Approach. *Proceedings Sardinia '05 – Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*, 3 – 7 October 2005, CISA, Cagliari, Italy.

Bollag, J.M. and Czlankowski, S.T. (1973): Inhibition of methane formation in soil by various nitrogen containing compounds. *Soil Biol Biochem* 5: 673-678.

Bouwman AF, Boumans LJM and Batjes NH (2002a): Emissions of N_2O and NO from fertilized fields: summary of available measurement data. *Glob Biogeochem Cycles* 16(4):1080-1107.

Breznak J. A. (1994): Acetogenesis from carbon dioxide in termite guts, p.303–330. In H. L. Drake (ed.), *Acetogenesis*. Chapman and Hall, New York, NY.

Bronson, K.F. and Mosier, A.R. (1991): Effect of encapsulated calcium carbide on dinitrogen, nitrous oxide methane and carbon dioxide emissions from flooded rice, *Biol. Fertil. Soils*. 11.

Bronson, K.F. and Mosier, A.R (1994): Suppression of methane oxidation in aerobic soil by nitrogen fertilisers, nitrification inhibitors and Urease inhibitors. *Biol. Fertil. Soils* 17: 263-268.

Brookes, G., and P. Barfoot. (2009): "GM Crops: global socio-economic and environmental impacts 1996- 2007". PG Economics Ltd, UK, May.

Brown, L.R. (2008). Introduction. In Goddard, T., Zoenbisch, M.A., Gan, Y.T., Ellis, W., Watson, A. and Sombatpanit, S. (eds.) Zero-till Farming Systems. Special Publication No. 3, World Association of Soil and Water Conservation, Bangkok. pp. 3-6.

Burn R. and Moody L. (2008): A Review of permeable cover options for manure storage. Retrieve April 2, 2011, from <http://www.extension.org/pages/24017/a-review-of-permeable-cover-options-for-manure-storage>.

CAST (2004): council for agricultural science and technology (CAST). Climate change and greenhouse gas mitigation: challenges and opportunities for agriculture. Paustian K, Babcock B (Cochairs) Report 141.

CD4CDM, 2012. CDM Pipeline Overview. Available at <cdmpipeline.org/publications/CDMpipeline.xlsx>

Chadwick D.R., (2005): Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane from cattle manure heaps: effect of compaction and covering. *Atmosphere Environment*, 39: 787-799.

Chan K.Y., Conyers M.K., Li G.D., Helyar K.R., Poile G., Oats A. and Barchia I.M. (2011). Soil carbon dynamics under different cropping and pasture management in temperate Australia: Results of three long term experiments. *Soil Research*, 49, 320-328.

China husbandry yearbook committee (2006). China husbandry yearbook committee -2006. Beijing, China Agriculture Press (in Chinese).

Church (1988): Digestive physiology and nutrition of ruminants. Englewood Cliffs: Prentice Hall.

CIMMYT (2010): Resource conserving technologies in South Asia: Frequently asked question. Jat ML, Singh RG, Sidhu HS, Singh UP, Malik RK, Kamboj BR, Jat RK, Singh V, Hussain I, Mazid MA, Sherchan DP, Khan A, Singh VP, Patil SG, Gupta R. pp 1-32.

Conant, R.T., K. Paustian, and E.T. Elliott, (2001): Grassland management and conversion into grassland: Effects on soil carbon. *Ecological Applications*, 11, pp. 343-355.

Cotta M. A., T. R. Whitehead and M. A. Rasmussen. (1997): Survival of the recombinant *Bacteroides thetaiotaomicron* strain BTX in vitro rumen incubations. *Appl Microbiol*, 82: 743-750.

Crutzen, P J., Mosier, A R., Smith K A. and Winiwarter W. (2008): N₂O release from agrobiofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos, Chem, Phys*. 8:389-395.

Czernik, S and Bridgwater A.V. (2004): 'Overview of Applications of Biomass Fast Pyrolysis Oil', *Energy Fuels*: 590-8.

Das K and Baruah K K. (2008): Methane emission associated with anatomical and morphophysiological characteristics of rice (*Oryza sativa* L.) plant. *Physiologia plantarum* 134: 303-312.

De Datta SK (1986): Technology development and the spread of direct-seeded flooded rice in southeast Asia. *Experimental Agriculture*, 22(4):417-426.

Demeyer, Henderickx. (1967): The effect of C18 unsaturated fatty acids on methane production in vitro by mixed rumen bacteria. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Lipids and Lipid Metabolism*, 137 6:484-497 (in Chinese).

Denier van der Gon H.A.C. and Neue, H.U. (1995): Influence of organic matter incorporation in the methane emission from a wetland rice field. *Global Biogeochem Cycles* 9: 11-22.

Department of Science and Education, Ministry of Agriculture, China (2003): *Biogas user Manual*. China Agriculture Press, Beijing

Ding X.Z. (2007): Effect of Tannic Acid on in Vitro Rumen Fermentation Characteristics and Methane Emission of Sheep. Dissertation, Gansu Agriculture University (in Chinese).

Dinnes D.L. (2004): Assessment of practices to reduce Nitrogen and potassium non-point source pollution of Iowa's surface waters, Iowa Dept. of National resources, Des Moines, LA.

Dixit S., Prasad J.V.N.S., Raju B.M.K. and Venkateswarlu B. (2010): Towards a carbon-Neutral rural India. Part 1 challenges and opportunities in Agriculture. *India Infrastructure Report*, pp393-406, 2010.

Dixon, R.K (1995): Agroforestry systems: sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry Systems* 31, 99–116.

Dong H, Tao X, Xin H, and He Q (2004). Comparison of enteric methane emissions in China for different IPCC estimation methods and production schemes. *Transactions of the ASAE*, 47(6), 2051-2057.

Dong H, Li Yue, Tao Xiuping, P XiaoPei, (2008). China greenhouse gas emissions from agricultural activities and its mitigation strategy. *Transaction of the CSAE*, 24(10), 269-273 (in Chinese).

Drake H. L., K. Kusel and C. Matthies. (2002): Ecological consequences of the phylogenetic and physiological diversities of acetogens. *Antonie Leeuwenhoek*, 81, 203–213.

Drury CF, Yang XM, Reynolds WD and McLughlin NB (2008): Nitrous oxide and carbon dioxide emissions from monoculture and rotational cropping of corn, soybean and winter wheat. *Can J Soil Sci* 88(2):163-174.

Ebeling, J. and Yasue, M. (2008). Generating carbon finance through avoided deforestation and its potential to create climatic, conservation and human development benefits. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 363 (1498): 1917-1924.

Eidman, V.R., (2005): Agriculture as a producer of energy. In *Agriculture as a producer and consumer of energy*. (ed. J.L. Outlaw, K.J. Collins and J.A.Duffield), pp.30-67, Cambridge, MA: CABI Publishing.

Environmental Protection Agency. (2010): *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990- 2008*. 1200 Pennsylvania Avenue, N.W. Washington, DC 20460. U.S.A,

Fan X., Dong H.M. and Han L.J., (2006): Experimental study on the factors affecting methane emission of beef cattle. *Transaction of CSAE*, 22: 197-182 (in Chinese).

Field CB, Campbell JE, Lobell DB (2008): Biomass energy: the scale of the potential resource. *Trends in Ecology and Evolution*, 23:65-72.

Fonty G., K. Joblin, M. Chavarot, R. Roux, G. Naylor and F. Michallon. (2007): Establishment and Development of Ruminant Hydrogenotrophs in Methanogen-Free Lambs. *Appl Environ Microbiol*, 73: 6391-6403

Forster P, Ramaswamy V, Artaxo P, Berntsen T, Betts R, Fahey DW, Haywood J, Lean J, Lowe DC, Myhre G, Nganga J, Prinn R, Raga G, Schulz M and Van Dorland R (2007): Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing. *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL (eds) Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, IPCC.

Galinato, S., Yoder, J. and Granatstein, D., 2011. The economic value of biochar in crop production and carbon sequestration. *Energy Policy*, 39, pp.6344–6350.

Gerald Rys, Methanet and NZoNet, Ministry of Agriculture and forestry, NewZealand. "A pathway to methane and Nitrous oxide mitigation discovery for Pastoral Agriculture in New Zealand". http://unfccc.int/files/meetings/workshops/other_meetings/application/pdf/rys.pdf

Git-forestry Consulting (2008): Eucalyptus in India: Timber and Wheat Polyculture <<http://git-forestry-blog.blogspot.com/2008/12/eucalyptus-in-india-timber-and-wheat.html>>

Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W. (2002), 'Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal –A review', *Biology and Fertility of Soils* 35, 219–230.

Goose, R.J. and Johnson, B.E. (1993): Effect of urea pellet size and dicyandiamide on residual ammonium in field microplots. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 24: 397-409.

Graham, L. E. and Wilcox, L.W. (2000): *Algae*, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ. pp 640.

Groenigen, J.W. van, G.J. Kasper, G.L. Velthof, A. van den Pol – van Dasselaaar and P.J. Kuikman (2004) Nitrous Oxide Emission Factors from Silage Corn Fields Under Different Mineral Nitrogen Fertiliser and Slurry Applications. *Plant Soil* (accepted for publication).

Guo Tingshuang. (1996) *Straw Husbandry*. Shanghai, Shanghai Science and Technology Press (in Chinese).

Han J. F., Feng Y. L., Zhang X. M., Mo F., Zhao G.Y. and Yang Y. F.. (1997): Effects of Fiber Digestion and VFA in the Rumen on the Methane Production in Steers of Different Type of Diets. *Chinese Journal of Veterinary Science*, 17:278-280.

Hanagata, N., Takeuchi, T., Fukuju, Y., Barnes, D. J. and Karube, I. (1992): Tolerance of microalgae to high CO and high temperature. *Phytochemistry* 31(10):3345-3348.

Hossain, M.F., Salam, M.A., Uddin, M.R., Pervez, Z., and Sarkar, M.A.R. (2002). A comparison study of direct seeding versus transplanting method on the yield of aus rice. *Pakistan Journal of Agronomy* 1:86-88.

Houghton Jt, Meira Pilho LG, Callander BA, Harris N, Kattonberg A and Maskeel K (eds). (1996): climate change 1995: The science of climatic change IPCC, 572pp, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Huang, M., Zou, Y., Jiang, P., Xia, B., Feng, Y., and Mo, Y. (2012). Effect of tillage on soil and crop properties of wet-seeded flooded rice. *Field Crops Research* 129:28-38.

Huber-Humer M. and Lechner P. (2008): Impact of Different Biocover Designs on Methane Mitigation. In: Pawlowska M., Pawlowski L. (Eds.): Management of Pollutant Emission from Landfills and Sludge. Selected Papers from the international workshop on Management of Pollutant Emission From Landfills and Sludge, Kazimierz Dolny, Polen, 16 - 19 September, 2006. Taylor and Francis Group, London, UK; ISBN13: 978-0- 415-43337-2 (hbk), 978-0-203-93218-6 (ebook); pp. 21-36.

Hultgreen G and Leduc P. (2003): The effect of nitrogen fertiliser placement, formulation, timing, and rate on greenhouse gas emissions and agronomic performance. Saskatchewan Department of Agriculture and Food. Final Report Project No.5300G, ADF#19990028. Regina, Saskatchewan, Canada.

Huntley, M.E. & Redalje, D.G. (2006): CO₂

Mitigation and Renewable Oil from Photosynthetic Microbes: A New Appraisal. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(4):573-608.

IEA (2009): The impact of the financial and economic crisis on global energy investment. IEA Background paper for the G-8 Energy Ministers Meeting in Rome, 24-25 May 2009; available at: [www.g8energy2009.it/pdf/IEA_Paper_for per cent20G8-Impact_of_the_crisis_on_energy_investment.pdf](http://www.g8energy2009.it/pdf/IEA_Paper_for_per_cent20G8-Impact_of_the_crisis_on_energy_investment.pdf).

IGUTEK (2011) : Agroforestry. Available at. <http://igutek.scripts.mit.edu/terrascopes/?page=Agroforestry>

IPCC (2000): IPCC Good Practice Guidance And Uncertainty Management In National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 4. IPCC National Greenhouse Gas Inventories Program Technical Support Unit, Kanagaw, Japan.

IPCC (2007a): Agriculture, in: Climate Change 2007. Working Group III: Mitigation. Cambridge, Cambridge University Press.

IPCC, (2007): Climate Change 2007: Synthesis Report. Contributions of Working Groups i, ii, and iii to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: IPCC.

IPCC (2007): Climate change 2007: the physical science basis. In S Solomon, D Qin, M Manning, Z Chen, M Marquis, KB Averyt, M Tignor, H L Miller, eds, Contribution of Working Group I to the Fourth Annual Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp 996.

IRRI (2002): Potentials of Water-saving Technologies in Rice Production: An Inventory and Synthesis of Options at the Farm Level. Available at <<http://www.iwmi.cgiar.org/assessment/FILES/word/proposals/Project%20Proposals/IRRIproposalDPP2002-26.pdf>>

IRRI (2009): Every drop counts. *Rice Today*, Vol 8, No. 3;16-19.

Jastrow, JD, Miller, RM, and Lussenhop, J. (1998): Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie 30:905-916.

Jackson RB, Banner JL, Pockman WT and Walls DH (2002): Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands. *Nature*, 418: 623–626

Joblin, K. N., G. P. Campbell, A. J. Richardson and C. S. Stewart (1989): Fermentation of barley straw by anaerobic rumen bacteria and fungi in axenic culture and in co-culture with methanogens. *Ltrs. in Appl. Microbiol.* 19:195-197.

Joblin K. N. (1996): Options for reducing methane emissions from ruminants in New Zealand and Australia, In W. J. Bouma, G. I. Pearman, and M. R. Manning (ed.), *Greenhouse: coping with climate change*. CSIRO Publishing, Collingwood, Australia,. 437-449.

Joblin K. N. (1999): Ruminal acetogens and their potential to lower ruminant methane emissions. *Aust J Agric Res*, 50: 1307-1313.

Junginger, M., (2000): Setting up fuel supply strategies for large-scale bio-energy projects using agricultural and forest residues. A methodology for developing countries. NW&S Report number: NW&S-E-2000-16 Utrecht, The Netherlands, p. 59, (ISBN 90- 73958-58-X).

Kasterine A and Vanzetti D (2010): The effectiveness, efficiency and equity of market-based instruments to mitigate GHG emission from the agri-food sector, in UNCTAD Trade and Environment Review 2009/2010, Geneva. Available at http://www.intracen.org/uploadedFiles/intracenorg/Content/Exporters/Sectors/Fair_trade_and_environmental_exports/Climate_change/TER_UNCTAD_KasterineVanzetti.pdf.

Keerthisinghe, D.G., Frenay, J.R. and Mosier, A.R., (1993): Effect of wax-coated calcium carbide and nitrapyrin on nitrogen loss and methane emissions from dry-seeded flooded rice *Biol Fertil Soils* 16:71-75.

Keffar, J.E., and Kleinheinz, G.T. (2002): Use of *Chlorella vulgaris* for CO₂ mitigation in photobioreactor. *J. Industr. Microbiol. and Biotech.* 29:275-280.

Kimble, JM, Rice CW, Reed D, Mooney S, Follett RF, and Lal R. (2007): *Soil Carbon Management, Economic, Environmental and Social Benefits*. CRC Press, Taylor & Francis Group.

Kimura, M., Asai, K. Watanabe A, Murase J and Kuwatsuka S (1992): Suppression of methane fluxes from flooded paddy soil with rice plants by foliar spray of nitrogen fertilisers. *Soil Sci Plant Nutr* 38:735-740.

Kodama, M., Ikemoto, H. and Miyachi, S. (1993): A new species of highly CO₂-tolerant fast growing marine microalga suitable for high-density culture. *Journal of marine biotechnology* 1:21-25.

Ko JY and Kang HW (2000): The effects of cultural practices on methane emission from rice fields. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 58: 311–314.

Kuikman PJ, Groot W, Hendriks R, Verhagen J and de Vries F (2003): Stocks of C in soils and emissions of CO₂ from agricultural soils in The Netherlands. Wageningen, Alterra. Alterra-report 561, 37pp.

Kuikman, P.J., Velthof, G.L. and Oenema, O. Alterra, (2003): Controlling Nitrous Oxide Emissions From Agriculture: Experiences In The Netherlands. Wageningen UR, 6700 AA Wageningen, The Netherlands.

Ladha JK, Kumar V, Alam M, Sharma S, Gathala M, Chandna P and Balaubramanian V (2009): Integrating crop and resource management technologies for enhanced productivity, profitability, and sustainability of the rice-wheat system in South Asia. In: Ladha JK, Erenstein O, Yadvinder- Singh F, Hardy B (eds) *Integrated crop and resource management in the rice-wheat system of South Asia*. International Rice Research Institute, Los Ban~os (Philippines), pp 69–108.

Lal R (2004): Soil Carbon Sequestration Impacts on Global Climate Change and Food Security. *Science*. 304(5677): 1623-1627.

Lal, R. (2005): Carbon sequestration and climate change with special reference to India. *Proc International Conference on Soil, Water and Environmental Quality-Issues and Strategies*, Indian Soc. Soil Sci., Division of SS and Ac, IARI, New Delhi, India, 295-302.

Lal, R. (1998). Land use and soil management effects on soil organic matter dynamics on Alfisols in Western Nigeria. In Lal, R, Kimble JM, Follett RF, and Stewart BA. *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC Press LLC. 109-126.

Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F. and Stewart, B.A., 1998a. *Management of carbon sequestration in soil*, CRC Press LLC.

Lal, R., Kimble, JM, Follet, RF, and Cole, CV. (1998b): *The Potential of U.S. Cropland to Sequester Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect*, Ann Arbor Press, Chelsea, Michigan, USA. Lal, R, Kimble JM, Follett RF, and Stewart BA. (1998c) *Soil Processes and the Carbon Cycle*. CRC Press LLC.

Lampkin, N.H. (1999). Organic farming in the European Union: Overview, policies and perspectives. Pp23- 30 in *Organic farming in the European Union: Overview, policies and perspectives for the 21st century*, proceedings of a joint EU and Austrian conference, 27-28 May (Baden/Vienna: Avalon Foundation and Eurotech Management).

Lehmann, J. (2007): A Handful of Carbon, *Nature*, 447:143-4.

Lehmann J, Gaunt J & Rondon M (2006): Bio-Char Sequestration In Terrestrial Ecosystems – A Review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* (2006) 11: 403–427. C Springer 2006, DOI: 10.1007/s11027-005-9006-5.

Lehmann, J. and Rondon, M. (2005): 'Bio-char soil management on highly-weathered soils in the humid tropics', in N. Uphoff (ed.), *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*, Boca Raton, CRC Press, in press.

- Li J.G. (2007): Modern dairy cattle production. Beijing: China Agriculture University Press, 169 (in Chinese).
- Li N. (2008): Study on greenhouse gas emission from slurry storage of swine farm. Dissertation. Beijing: China Academy of Agriculture Sciences (in Chinese).
- Li Wen-bin, Yan Xiao-bo, Xu Jian-feng, Huang Jian-wei, Guo Li-na and Wang Jin (2010). Report on fattening cattle fed with corn stalk processed by different methods. China Cattle science, 36, 16-18, 27 (in Chinese).
- Li Y. Horsman M., Wu N, Lan CQ and Dubois-Calero N (2008): Biofuels from microalgae. Biotech Prog (in press) ASAP Article, DOI 10.1021/bp070371kS8756-7938(07)00371-2
- Lindau, C.W., Bollich, P.K., DeLaune R.D., Mosier, A.R. and Bronson K.F. (1993): Methane mitigation in flooded Louisiana rice fields. Biol Fertil Soils 15: 174-178.
- Liu x, Mosier A, Halvorson A and Zhang F (2006): The impact of nitrogen placement and tillage on NO, N₂O, CH₄ and CO₂ fluxes from a clay loam soil. Plant Soil 280(1):177-188.
- Long, S.P., Ainsworth, E.A., Rogers A., and Ort D.R., (2004): Rising Atmospheric Carbon Dioxide: Plants FACE the future. Annu. Rev. Plant Biol., 55: 591-628.
- Lu, R., Y. E. Li, Y. Wan, Y. Liu, and L. Jin (2007): Emission of greenhouse gases from stored dairy manure and influence factors. Transactions of CSAE, 23, 198-204 (in Chinese).
- Lueders T. and Friedrich M W. (2002): Effects of Amendment with Ferrihydrite and Gypsum on the Structure and Activity of Methanogenic Populations in Rice Field Soil. APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, 68(5):2484-2494.
- Lyford S.L. (1988): Growth and development of the ruminant digestive system. The ruminant animal. Digestive Physiology and Nutrition, Church D.C. edited, Prentice Hall.
- Machmüller A, C.R. Soliva and C.R. Soliva. (2001): Diet composition affects the level of ruminal methane suppression by medium-chain fatty acids. Australian Journal of Agricultural Research, 713-722.
- Mae-Wan Ho and Lim Li Ching (2008): Mitigating Climate Change through Organic Agriculture and Localized Food Systems, ISIS Report 31/1/08.
- Mallick N (2002) Biotechnological potential of immobilized algae for wastewater N, P and metal removal: a review. BioMetals 15:377–390.
- Masood. S., (2009): Peri carbon agriculture, agriculture by Twenty 20 and beyond (in association with Shere Kashmir University).
- Matsumoto, H., Shioji, N., Hamasaki, A., Ikuta, Y., Fukuda, Y., Sato, M., Endo, N. and Tsukamoto, T. (1995) Carbon dioxide fixation by microalgae photosynthesis using actual flue gas discharged from a boiler. Applied biochemistry and biotechnology 51/52, 681-692.

Mc Taggart, I.P., Clayton, H. and Smith, K.A. (1994): Nitrous oxide flux from fertilized grassland: strategies for reducing emissions. In Non- CO₂ Greenhouse Gases (Ed. J. van Ham, L.J.H.M. Jassen and R.J.Swart), Kluwer, Dordrecht, 421-426.

McBride, B.C. and Wolfe, R.S. (1971): Inhibition of methanogenesis by DDT. *Nature* 234:551.

McSweeney C S, Mackie R I and White B A. (1994): Transport and intracellular metabolism of major feed compounds by ruminal bacteria: the potential for metabolic manipulation. *Aust J Agric Res*, 45, 731-756.

MDA (2011): Conservation Practices, Minnesota Conservation Funding Guide, Minnesota Department of agriculture. Available at: <http://www.mda.state.mn.us/protecting/conservation/practices/constillage.aspx>

Megraw, S.R. and Knowles, R. (1987): Methane consumption and production in a cultivated humisol. *Biol Fertil Soils* 5: 56-60.

Melillo, Jerry M., John M. Reilly, David W. Kicklighter, Angelo C. Gurgel, Timothy W. Cronin, Sergey Paltsev, Benjamin S. Felzer, Xiaodong Wang, Andrei P. Sokolov, and C. Adam, (2009): Indirect Emissions from Biofuels: How Important? *Science* 326: 1397-1399.

Metra-Corton TM, Bajita JB, Grospe FS, Pamplona RR, Asis CA, Wassmann R and Lantin RS (2000): Methane emission from irrigated and intensively managed rice fields in Central Luzon (Philippines), *Nutrient Cycl. Agroecosys.* 58, 37-53.

Millar N., Robertson GP. grace PR., Gehl R.J. and Hoben J.P. (2010); Nitrogen fertiliser management for nitrous oxide mitigation in intensive corn (Maize) production : an emissions reduction protocol for US Midwest agriculture. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* (2010) 15:185-204.

Minami K (1995): The effect of nitrogen fertiliser use and other practices on methane emission from flooded rice. *Fertiliser Research*. 40: 71-84.

Miura, Y., Yamada, W., Hirata, K., Miyamoto, K. and Kiyohara, M. (1993) Stimulation of hydrogen production in algal cells grown under high CO₂ concentration and low temperature. *Applied biochemistry and biotechnology* 39/40:753-761.

Miyairi, S. (1995): CO₂ assimilation in a thermophilic cyanobacterium. *Energy conversion and management* 36(6-9):763-766.

Monteny G.J., Bannink A. and Chadwick D. (2006): Greenhouse gas abatement strategies for animal husbandry. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112:163-170.

Mosier A., C. Kroeze, C. Nevison, O. Oenema, S. Seitzinger, and O. van Cleemput (1998): Closing the global atmospheric N₂O budget: Nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 52:225-248.

Muchovej, R.M. (2001): Importance of mycorrhizae for agricultural crops. IFAS Extension Bulletin SS-AGR-170, University of Florida, Gainesville, Florida, USA. 5 pp.

Na R.H. (2010): Effects of Diet Composition on Methane and Nitrogen Emissions from Lactating Cattle. Dissertation. Beijing: China Academy of Agriculture Sciences (in Chinese).

NA Ren-hua, DONG Hong-min, TAO Xiu-ping, MA Rui-juan and XI Jia-lin (2010): Effects of Diet Composition on in Vitro Digestibility and Methane Emissions of Cows, *Journal of Agro-Environment Science*, 29(8), 1576-1581 (in Chinese).

Nagase, H., Eguchi, K., Yoshihara, K., Hirata, K. and Miyamoto, K. (1998): Improvement of microalgal NO_x removal in bubble column and airlift reactors. *Journal of fermentation and bioengineering* 86(4), 421-423.

NAIP (ICAR), Annual report 2009, CRIDA, Hyderabad, India. NAIP (National Agricultural Innovation Project), ICAR, Annual report 2009, Sustainable rural livelihoods through enhanced farming systems productivity and efficient support systems in rainfed areas. Central Research Institute for Dryland Agriculture (CRIDA), Hyderabad, India

Nakano, Y., Miyatake, K., Okuno, H., Hamazaki, K., Takenaka, S., Honami, N., Kiyota, M., Aiga, I. and Kondo, J. (1996) Growth of photosynthetic algae *Euglena* in high CO₂ conditions and its photosynthetic characteristics. *ActaHort* 440, 49-54.

Natural Resources Conservation Service (NRCS) (Unknown) Tillage Equipment: Pocket Identification Guide <ftp://ftp-fc.sc.egov.usda.gov/IA/intranet/Tillage.pdf>

Nelson, D.W., and Huber, D. (2001): Nitrification inhibitors for corn production, *National Corn Handbook* NCH-55, Iowa State University, Ames, Iowa, USA. 6 pp.

Nelson, G.C., Robertson, G., Msangi, S., Zhu, T., Liao, X. and Jawagar, P.(2009): Greenhouse Gas Mitigation: Issues For Indian Agriculture: *Int. Food. Pol. Res. Inst.* Pp 1-60.

NEWS LETTER, CRIDA, pp-3, Jan-Jun, 2010.

New Scientist (2011) : The rush towards renewable oil. *New Scientist* 21 May 2011.

Niggli, U.; Fließbach, A.; Hepperly, P. and Scialabba, N. (2009). Low greenhouse gas agriculture: Mitigation and adaptation potential of sustainable farming systems, *Rev. 2*. Rome, FAO, April; available at: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai781e/ai781e00.pdf>.

Olivier, J.G.J., L.J. Brandes, J.A.H.W. Peters, P.W.H.G. Coenen and H.H.J. Vreuls (2003): Greenhouse Gas Emissions in The Netherlands 1990 – 2001. *National Inventory Report 2003*. RIVM, Bilthoven, The Netherlands. RIVM report 773201007, pp 229.

Parashar, D.C. and Bhattacharya S (2002): Considerations for methane mitigation from Indian paddy fields. *Indian Journal of Radio and Space Physics*. 31: 369-375.

Patel G.B.,* Agnew B.J., and Dicaire C.J. (1991): Inhibition of Pure Cultures of Methanogens by Benzene Ring Compounds. *Applied and Environmental Microbiology*, 57,10, 2969-2974.

Pathak H. and Wassmann R. (2007): Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of technical coefficients. *Agricultural Systems* 94 (2007) 807-825.

Pathak H (2010): Mitigating greenhouse gas and nitrogen loss with improved fertiliser management in rice: quantification and economic assessment. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 87:443-454.

Pathak H, Byjesh, K., Chakrabarti, B. and Aggarwal, P.K. (2011). Potential and cost of carbon sequestration in Indian agriculture: Estimates from long-term field experiments. *Field Crops Research*, 120(1), pp.102– 111.

Paustian, K., B.A. Babcock, J. Hatfield, R. Lal, B.A. McCarl, S. McLaughlin, A. Mosier, C. Rice, G.P. Robertson, N.J. Rosenberg, C. Rosenzweig, W.H. Schlesinger and D. Zilberman (2004): *Agricultural Mitigation of Greenhouse Gases: Science and Policy Options*, Council on Agricultural Science and Technology (CAST) Report, R141 2004, ISBN 1-887383-26-3, 120 pp.

Paustion, K., Cole C.V., Sauerbeck D and Sampson N. (1995): CO₂ mitigation by agriculture: An overview> climatic change. 40(1):135-162.

Pedroni, P., Davison, J., Beckert, H., Bergman, P. and Benemann, J. (2001): A proposal to establish an international network on biofixation of CO₂ and greenhouse gas abatement with microalgae. *Journal of energy and environmental research* 1(1): 136-150.

Petersen SO, Regina K, Pollinger A, Rigler E, Valli L, Yamulki S, Esala M, Fabbri C, Syvasalo E and Vinther FP (2006): Nitrous oxide emissions from organic and conventional crop rotations in five European countries. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 112(2): 200-206.

Powers W. (2006): Covering nutrients during manure storage. Retrieve April 2, 2011, from [http:// www.animalagteam.msu.edu/LandApplication/ Manureand Nutrient Management/ ConservingNutrientsDuringManureStorage/tabid/306/Default.aspx](http://www.animalagteam.msu.edu/LandApplication/ManureandNutrientManagement/ConservingNutrientsDuringManureStorage/tabid/306/Default.aspx)

Powlson, D.S., Goulding KWT, Willison TW, Webster CP and Hutsch BW (1997): The effect of agriculture on methane oxidation in soil. *Nutr Cycl Agroecosys* 49:59-70.

Prieto, I., Armas, C., and Pugnaire, F.I. (2012): Water release through plant roots: new insights into its consequences at the plant and ecosystem level. *New Phytologist* 193:830-841.

Rath A.K., Swain, B., Ramakrishnan, B., Panda, D., Adhya, T.K., Rao, V.R. and Sethunathan, N. (1999): Influence of fertiliser management and water regime on methane emission from tropical rice fields. *Agric Ecosyst Environ* 76: 99-107.

Raupach, Michael R. , Gregg Marland,Philippe Ciais,Corinne Le Quéré, Josep G. Canadell, Gernot Klepper,and Christopher B. Field (2007): Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. *Proc. Natl.Acad. Sci. U.S.A.* 104 (24): 10288–93. Bibcode 2007PNAS..10410288R. doi:10.1073/pnas.0700609104.

Regalbuto, J.R. (2009). Cellulosic biofuels – got gasoline? *Science* 325:822-824.

Rehman A (2007): Zero tillage technology for rice and wheat crops. Quoted from site www.archives.dawn.com

Richter, B. (2004): Using ethanol as an energy source. *Science* 305, 340.

Richard, T.L. (2010). Challenges in scaling up biofuels infrastructure. 329:793-796.

Richards KR & Stokes C (2004): A Review of Forest Carbon Sequestration Cost Studies: A Dozen Years of Research. *Climatic Change* 63: 1–48, 2004.

Rillig, M.C., (2004): Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Can. J. Soil Sci.* 84: 355–363.

Robertson, G.P., (2004): Abatement of nitrous oxide, methane and other non- CO₂ greenhouse gases: the need for a systems approach. In *The global carbon cycle. Integrating Humans, Climate, and the Natural World*, C.B. Field, and M.R. Raupach (eds.). SCOPE 62, Island Press, Washington D.C., pp. 493-506.

Robertson, G.P., Dale, V.H., Doering, O.C., Hamburg, S.P., Melillo, J.M., Wander, M.M., Parton, W.J., Adler, P.R., Barney, J.N., Cruse, R.M., Duke, C.S., Fearnside, P.M., Follett, R.F., Gibbs, H.K., Goldemberg, J., Mladenoff, D.J., Ojima, D., Palmer, M.W., Sharpley, A., Wallace, L., Weathers, K.C., Wiens, J.A., and Wilhelm, W.W. (2008). Sustainable biofuels redux. *Science* 322:49-50.

Rosello Sastre R, Csogor Z, Perner-Nochta I, Fleck-Schneider P and Posten C (2007) Scale-down of microalgae cultivations in tubular photo-bioreactors—a conceptual approach. *J Biotechnol* 132:127–133.

Rotenberg R and Yakir D (2010) Contribution of semi-arid forests to the climate system. *Science*, 327, 451- 454 DOI: 10.1126/science.1179998. (Perspective: Drylands in the Earth System. D.S. Schimel. *Science*, 327, 418-419).

Rys, G. Unknown. A pathway to methane and Nitrous oxide mitigation discovery for Pastoral Agriculture in New Zealand. Available at . http://unfccc.int/files/meetings/workshops/other_meetings/application/pdf/rys.pdf

Sar, C., B. Mwenya, B. Santoso, K. Takaura, R. Morikawa, N. Isogai, Y. Asakura, Y. Toride and J. Takahashi. (2005a): Effect of *Escherichia coli* W3110 on ruminal methanogenesis and nitrate/nitrite reduction in vitro. *Anim. Feed Sci. Technol.* 118: 295-306.

Sar, C., B. Mwenya, B. Santoso, K. Takaura, R. Morikawa, N. Isogai, Y. Asakura, Y. Toride and J. Takahashi. (2005b): Effect of *Escherichia coli* wild type or its derivative with high nitrite reductase activity on in vitro ruminal methanogenesis and nitrate/nitrite reduction. *J. Anim. Sci.* 83:644-652.

Sar, C., B. Mwenya, B. Pen, K. Takaura, R. Morikawa, A. Tsujimoto, N. Isogai, Y. Asakura, I. Shinzato, Y. Toride and J. Takahashi. (2006): Effect of wild type *Escherichia coli* W3110 or *Escherichia coli* nir-Ptac on methane emission and nitrate toxicity in nitrate-treated sheep. *International Congress Series*, 1293:193-196.

Sudha, P.; V. Ramprasad; M.D.V. Nagendra; H.D. Kulkarni and N.H. Ravindranath (2007): Development of an agroforestry carbon sequestration project in Khammam district, India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(6), pp.1131-1152.

Sahrawat, K.L. and Parmar, B.S. (1975): Alcohol extract of neem (*Azadirachta indica L*) seed as a nitrification inhibitor. *J Indian Soc Soil Sci* 23:131-134.

Satavik (2011): Vermicomposting. Available at <<http://www.satavik.org/vermicomposting.htm>>
Scharlemann, J.P.W., and Laurance, W.F. (2008): How green are biofuels? *Science* 319:43-44.

Schenk, Peer M., Thomas-Hall, Skye R., Stephens, Evan, Marx, Ute C., Mussnug, Jan H., Posten, Clemens, Kruse, Olaf and Hankamer, Ben (2008): Second Generation Biofuels: High-Efficiency Microalgae for Biodiesel Production. *BioEnergy Research*, 1(1), pp.20-43.

Schroeder, W.R. (1995). Improvement of conservation trees and shrubs. PFRA Shelterbelt Centre Supp. Rpt. #95-1, 42 p

Schneider, W.A. and Pushpam Kumar (2008): Greenhouse gas mitigation through agriculture. *Choices* 23(1).

MOA (Ministry of Agriculture, Science and Education Department), (2010). National survey and evaluation report of crop straw resources (in Chinese). (2010). National survey and evaluation report of crop straw resources (in Chinese).

Seckbach, J., Gross, H., Nathan, M. B. (1971): Growth and photosynthesis of *Cyanidium caldarium* cultured under pure CO₂. *Israel journal of botany* 20, 84-90.

Setyanto, P., Mulyadi, and Zaini, Z. (1997). Emisi gas N₂O dari beberapa sumber pupuk nitrogen di lahan sawah tadah hujan. *Jurnal Penelitian Tanaman Pangan* 16:14-18.

Shink B. (1994): Diversity, ecology and isolation of acetogenic bacteria, In H. L. Drake (ed.), *Acetogenesis*. Chapman and Hall, New York, NY, p.197–235.

Sirin A., Chistotin M., Suvorov G., Glagolev M., Kravchenko I., and Minaeva T. (2010): Drained peatlands used for extraction and agriculture: biogeochemical status with special attention to greenhouse gas fluxes and rewetting. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 12, EGU2010-11623, 2010. EGU General Assembly 2010.

Six, J., Elliott, E. T., and Paustian, K. (1999). Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and zero-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63, 1350–1358.

Skiba U, Fowler D & Smith KA (1997): Nitric oxide emissions from agricultural soils in temperate and tropical climates: sources, controls and mitigation options. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 48: 139-153.

Smith K., Cumby T., Lapworth J., Misselbrook, T. and Williams, A. (2007): Natural crusting of slurry storage as an abatement measure for ammonia emissions on dairy farms. *Biosystems Engineering*, 97, 464-471

Smith, P. (2004): Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context. *Eur.J. Agron.* 20, 229-236.

Smith, P., Andrén O., Karlsson T., Perälä P., Regina K., Rounsevell M., and Van Wesemael B., (2005) a: Carbon sequestration potential in European croplands has been overestimated. *Global Change Biology*, 11:2153-2163.

Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, HH., Kumar, P., McCarl, B., Ogle S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B. and Sirotenko, O. (2007): Agriculture. In climate change 2007: Mitigation. Contribution of working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Smith P, Martino D, Cai Z, Gwary D, Janzen HH, Kumar P, Mccarl B, Ogle S, O'mara F, Rice C, Scholes RJ, Sirotenko O, Howden M, Mcallister T, Pan G, Romanenkov V, Schneider U, Towprayoon S, Wattenbach M and Smith JU (2008): Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 363:789-813.

Snyder CS, Bruulsema TW and Jensen TL (2007): Greenhouse gas emissions from cropping systems and the influence of fertilisers management- a literature review. International Plant Nutrition Institute, Norcross.

Somerville, C. (2006). The billion-ton biofuels vision. *Science* 312:1277.

Spatari, S., Y. Zhang and H.L. Maclean, (2005): Life cycle assessment of switchgrass- and corn stover-derived ethanol-fueled automobiles. *Environmental Science and Technology* 39, 9750-9758.

Sprott, G.D., Jarrell, K.L., Shaw, K.M. and Knowles, R. (1982): Acetylene as an inhibitor of methanogenic bacteria. *J Gen Microbiol* 128:2453-2462.

Subramanian, K.S., Tenshia, V., Jayalakshmi, K. and Ramachandran, V. (2009). Role of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) – (fungus aided) in zinc nutrition of maize. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development* 1(1):029-038.

Suddick E.C., Scow K.M., Horwath W.R., Jackson L.E., Smart D.R., Mitchell J, and Six J (2010): The Potential for California Agricultural Crop Soils to Reduce Greenhouse Gas Emissions: A Holistic Evaluation. *Advances in Agronomy* 107:123-162.

Sun D.C., Zhao Z.L. and Wei M.L. (2008): Effect of different concentrate to forage ratio of TMR to dairy cattle rumen indices. *Feed Research*, 10, 47-50 (in Chinese)

Sun GQ., GW. Liu, X. Xing, XY. Pang, M. Long, X. Yuan, WY. Yang and Z. Wang. (2010): Metabolic Characterization of *Megasphaera elsdenii* and its Gene Deletion Engineering Bacteria in vitro. *China animal husbandry and veterinary medicine*, 37: 26-29.

Søren O.P. and Ambus P. (2006): Methane oxidation in pig and cattle slurry storages, and effects of surface crust moisture and methane availability. *Nutrient cycling in agroecosystems*, 74:1-11.

Takimoto, A., Nair, P.K.R. & Alavalapati, J.R.R. (2008). Socioeconomic potential of carbon sequestration through agroforestry in the West African Sahel. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13(7):745-761.

Tenuta M and Beauchamp EG (2003): Nitrous oxide production from granular nitrogen fertilisers applied to a silt loam. *Can J Soil Sci* 83:521-532.

Thiele, J. H. and J.G. Zeikus. (1988): Control of interspecies electron flow during anaerobic digestion: Significance of formate transfer versus hydrogen transfer during syntrophic methanogenesis in flocs. *Appl. Environ. Microbiol.* 54: 20-29

Travis Lybbert & Daniel Sumner (2010): Agricultural Technologies for climate change mitigation and adaptation in developing countries: Policy options for innovation and Technology Diffusion. Issue Brief No.6, ICTSD- IPC Platform on Climate Change, Agriculture and Trade. Available at http://ictsd.org/downloads/2010/06/agricultural-technologies-for-climate-change-mitigation-and-adaptation-in-developing-countries_web.pdf

Travieso L, Hall DO, Rao KK, Benitez F, Sanchez E and Borja R (2001): A helical tubular photobioreactor producing *Spirulina* in a semicontinuous mode. *Int Biodeterior Biodegrad* 47:151–155.

Tschakert, P. (2004): The costs of soil carbon sequestration: an economic analysis for small-scale farming systems in Senegal. *Agricultural Systems*, 81:227–253.

Tsukahara K and Sawayama S (2005): Liquid fuel production using microalgae. *J Jpn Petrol Inst* 48:251– 259.

UNFCCC, 2006a. Bayer Tabela Direct Seeded Rice (DSR) in Java: Reduction of Methane Emissions by Switching from Transplanted to Direct Seeded Rice with Adjusted Water Management. Available at: http://cdm.unfccc.int/filestorage/G/8/X/G8XUOQ9W3FEMCT7Y46S15I02JVZDBL/PDD%20version%201.pdf?t=MjB8bTQ1aW91fDA_tXYI8ALRH-Elw7FbDIs8.

UNFCCC, 2006b. Ramirana Emission Reduction Project of Agrícola Super Limitada. Available at: http://cdm.unfccc.int/filestorage/C/B/J/CBJBBE4QYZMRIZAD1QHKKWQ1S30ZPZ.1/PDD_Ramirana_v03_2006-04-1.pdf?t=c298bTQ1ajY3fDCHa5ao8L4wqmyaiTAmCzfh.

UNFCCC (2008a): Challenges and opportunities for mitigation in the agriculture sector. Technical paper FCCC/TP/2008/8, United Nations Framework Convention on Climate Change, Bonn.

UNFCCC, 2012a. Consolidated baseline methodology for GHG emission reductions from manure management systems. Available at: http://cdm.unfccc.int/filestorage/C/D/M/CDMWF_AM_C3F7XHP7QE019P091PQEIZ862CDERC/EB42_repan08_ACM0010_ver05.pdf?t=cGt8bTQ1aXgwFD DXCHVKEHWU9oi8uwFHMcx.

UNFCCC, 2012b. Methane emission reduction by adjusted water management practice in rice cultivation. Available at: http://cdm.unfccc.int/filestorage/W/H/Q/WHQ95K7JGOXRUDTYL0SN214B8V6ACP/EB66_repan59_Revison%20of%20AMS-III.AU_ver02.pdf?t=NW58bTQ1aWJyfDD4jNBnrASoO_UCkgXO1FxH.

UNFCCC, 2012c. Methane recovery in animal manure management systems. Available at: http://cdm.unfccc.int/filestorage/9/K/Y/9KYSPHV51TNF6MO8LRICJAB0GX3Z27/EB63_repan22_Draft%20revision_AMS_III.D_ver18.pdf?t=MkN8bTQ1ajA1fDDhZwcubn-u3HmJ6EPZwCHc.

Upreti, D. C., Baruah, K.K and Borah L. (2011): Methane in rice agriculture, J. Sci. and Indust. Res. 70(6):401-411.

Upreti, D. C., Chakravarty, N. V. K., Katiyal, R. K. and Abrol, Y. P. (1996): Proc. of workshop on "Climate variability of South Asia and its impact on Agriculture". Narosa Publishing House, London/New Delhi. 262-278.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S. EPA): Sustainable Rice Productivity and Methane Reduction Research Plan. Washington, D.C. 1991. (EPA 1991).

Van Beek C. L., (2010): Environmental Science and Policy 13:89-96.

Velthof, G.L., P.J. Kuikman and O. Oenema (2003): Nitrous oxide emission from animal manures applied to soil under controlled conditions. Soil Biol Fertil 37: 221-230.

Velthof, G.L., P.J. Kuikman and O. Oenema (2002): Nitrous oxide emission from soils amended with crop residues. Nutr Cycl Agroecosyst 62:249 – 261.

Venterea RT, Burger M and Spokas KA (2005): Nitrogen oxide and methane emissions under varying tillage and fertiliser management. J Environ Qual 34:1467-1477.

Verma M.P. & Singh J. P. (2009): Zero Tillage Technology is an Alternate Method of Sowing- a case study. Quoted from site www.scribd.com.

Wallace R J. (1994): Ruminant microbiology, biotechnology and ruminant nutrition. J Anim Sci, 72, 2992- 3003.

Wang B., Li Y., Wu N. and Lan C Q. (2008): CO₂ 79:707-718. bio-mitigation using microalgae. Appl Microbiol Biotechnol 79: 707-718

Wang Jinli, Yang Ruie and Gao Zhaoping. (2008): Comparison of the Effects of Different Treatments to Maize Straw on Fattening Beef Cattle. J. Shanxi Agric. Univ. (Natural Science Edition), 28(3), 320-324 (in Chinese)

Wang ZY, Xu YC, Li Z, Guo YX, Wassmann R, Neue HU, Lantin RS., Buendia LV., Ding YP., and Wang ZZ (2000): Methane emissions from irrigated rice fields in northern China (Beijing). Nutr Cycling Agroecosyst 58(1/3):55-6.

Wassman R., Lantin R.S., Neue H. U., Buendia L.V., Corton T.M. and Lu Y.(2000): Characterization of methane emissions from rice fields in Asia. III. Mitigation options and future research needs. Nutrient Cycling in Agroecosystems 58: 23–36.

Wassmann R and Pathak H. (2007): Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: II. Cost- benefit assessment for different technologies, regions and scales. Agricultural Systems 94:826-840.

Weerakoon, W.M.W., Mutunayake, M.M.P., Bandara, C., Rao, A.N., Bhandari, D.C., Ladha, J.K (2011): Direct-seeded rice culture in Sri Lanka: Lessons from farmers. *Field Crops Research*, 121(1):53-63.

Weiske A., V abitsch A. and Olesen J.E., (2006): Mitigation of greenhouse gas emissions in European conventional and organic dairy farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 112, 221-232.

Why Files (2011): http://whyfiles.org/199_soil/4.html

Wikipedia (2012): Rice transplanter, http://en.wikipedia.org/wiki/Rice_transplanter.

Wijffels, R.H., and Barbosa, M.J. (2010). An outlook on microalgal biofuels. *Science* 329:796-799.

Willer, Helga, Minou Youssefi-Menzler and Neil Sorensen (2008): *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2008*. IFOAM, Bonn and FiBL, Frick. Hardcover edition: Earthscan, London. (<http://orgprints.org/8535/>)

Woomer, P.L., Palm, C.A., Qureshi, J.N., and Kotto-Same, J. (1998): Carbon sequestration and organic resource management in African Smallholder agriculture. In Lal, R., Kimble, J.M., Follett, R.F., and Stewart, B.A. (eds.), *Management of Carbon Sequestration in Soil*, CRC Press, Boca Raton, FL. 153-173.

Wright A. D., P. Kennedy, C. J. Neill, A. F. Toovey, S. Popovski, S. M. Rea, C. L. Pimm and L. Klein. (2004): Reducing methane emissions in sheep by immunization against rumen methanogens. *Vaccine*, 22, 3976- 85.

Xu Zengfu, (1981): *Biogas technology*. China Agriculture Press, Beijing.

Yang S. R. (2000): Reducing methane emission of cattle from biology prospect. *Agro-environment and Development*, 1:47-48 (in Chinese).

Yang W. Y. (2007): Effects of *veillonella parvula* and its gene deletion engineering bacteria on the ruminal microbial fermentation. Dissertation. Jiling University.

Yoshihara, K., Nagase, H., Eguchi, K., Hirata, K. and Miyamoto, K. (1996): Biological elimination of nitric oxide and carbon dioxide from flue gas by marine microalga NOA-113 cultivation in a long tubular photobioreactor. *Journal of fermentation and bioengineering*. 82(4):351-354.

You Y.B. (2007): *Studies on Methane Emission Measurement and Predicting Model of Beef Cattle*. Dissertation. Beijing: China Academy of Agriculture Sciences (in Chinese).

Youkhana A & Idol T (2009): Tree pruning mulch increases soil C and N in a shaded coffee agroecosystem in Hawaii. *Soil Biology & Biochemistry* 41:2527–2534.

Yvette J. W., S. Popovski, S. M. Rea, L. C. Skillman, A. F. Toovey, K. S. Northwood and A. D. Wright. (2009): A Vaccine against Rumen Methanogens Can Alter the Composition of Archaeal Populations. *Appl Environ Microbiol*, 75:1860-1866.

Zehnder A.J.B. and Stumm W. (1988): Geochemistry and biochemistry of anaerobic habitats, p 1-38. In A.J.B. Zehnder (ed.), *Biology of anaerobic microorganisms*. Wiley Interscience, New York, N.Y.

Zou J, Huang Y, Jiang J Zheng X and Sass RL (2005): A 3-year field measurement of methane and nitrous oxide emissions from rice paddies in China: Effects of water regime, crop residue, and fertiliser application. *Global biogeochemical cycles*, vol 19 GB2021, doi:10.1029/2004GB002401, 2005.



В настоящем руководстве освещается ряд технологий и методов аграрного сектора, касающихся с-х культур и скота, позволяющих контролировать выбросы парниковых газов и при этом повышать производительность. Все возможные варианты описываются простым языком, также излагаются подходы к внедрению этих технологий. Это руководство будет использоваться национальными группами по применению ТНА, в которые входят заинтересованные стороны правительства, неправительственных организаций и частного сектора.

Авторами публикации являются доктор Д.С. Апрети, доктор Субаш Дар, профессор Донг Хонгмин, доктор Брюс А. Кимболл, профессор Амит Гарг и госпожа Джигиша Упадхай. Опираясь на собственные знания и опыт работы в аграрном секторе и в области изменения климата, авторы сбалансировано описывают технологии с точки зрения развития и климата.

Настоящее издание является одним из руководств по технологиям адаптации к изменению климата и смягчению последствий выбросов парниковых газов, подготовленных в рамках финансируемого ГЭФ проекта «Оценка потребностей в технологиях» (англ. Technology Needs Assessment (TNA)). Этот проект реализуется ЮНЕП и URC в 36 развивающихся странах.



UNEP Risø Centre

Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy

<http://www.uneprisoe.org/>

<http://tech-action.org/>